
Technische Hochschule Köln

Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science im
Studiengang Wirtschaftsinformatik an der Fakultät für Informatik und
Ingenieurwissenschaften der Technischen Hochschule Köln zum Thema:

Welche Technologietrends hinsichtlich ERP- Systemen schaffen einen Mehrwert für Geschäftsprozesse an dem Beispiel S/4HANA?

vorgelegt von
Leonard Traeger

Erstprüferin: Prof. Dr. Birgit Bertelsmeier (TH Köln)

Zweitprüfer: Prof. Dr. Frank Victor (TH Köln)

Gummersbach, den 18. Februar 2019

Kontaktdaten

Verfasser:

Leonard Traeger

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Erstprüferin:

Prof. Dr. Birgit Bertelsmeier

Campus Gummersbach

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Zweiprüfer:

Prof. Dr. Frank Victor

Campus Gummersbach

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer oder der Verfasserin/des Verfassers selbst entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Gummersbach, den 18. Februar 2019

Traeger, Leonard

Abstract

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war es, Technologietrends von Enterprise-Resource-Planning (ERP) Systemen zu definieren und anhand eines modernen Produktes vorzustellen. Ein ERP-System unterstützt Unternehmen in der Organisation und Durchführung von sämtlichen Geschäftsprozessen. Zur Untersuchung der wünschenswerten Eigenschaften eines ERP-Systems wurden anhand von Literaturarbeit Anforderungen definiert. Dabei wurde deutlich, dass die Verarbeitung von sämtlichen Geschäftsdaten in Echtzeit einen hohen Stellenwert hat. Hierfür bietet das ERP-System S/4HANA mit verschiedenen Technologien eine Lösung auf dem Datenbanksystem an. So zeigt ein direkter Performancevergleich zwischen den Datenbanksystemen von S/4HANA und einem aktuellen Konkurrenzprodukt, dass das Verarbeiten von großen Datenmengen in kürzester Zeit möglich ist. Diese Arbeit ist an Fachkreise der Wirtschaftsinformatik und Personengruppen mit Interesse an ERP und Datenbanken Systemen gerichtet.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	3
Abstract	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
2 Enterprise-Resource-Planing Systeme	11
2.1 Geschäftsprozesse	11
2.2 ERP-Infrastruktur	13
2.3 Physischer Datenbeschaffungsprozess	15
2.4 Anforderungen an ERP-Systeme	17
3 S/4HANA	20
3.1 Produktüberblick	20
3.2 Technologieneuerungen	21
3.3 SAP HANA	25
3.3.1 In-Memory-Technologie	26
3.3.2 Spaltenbasierte Tabellenspeicherung	30
4 Performancetest	38
4.1 Ausgangslage	38
4.2 Versuchsaufbau	40
4.3 Ergebnisse	43
5 Fazit	47
6 Literaturverzeichnis	49
Anhang	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ERP-System Referenzmodell.....	13
Abbildung 2: S/4HANA hinsichtlich ERP-System Referenzmodell.....	22
Abbildung 3: Prinzip des Code Pushdown	25
Abbildung 4: In-Memory-Technologie von SAP HANA	28
Abbildung 5: Tabelle Fahrzeug: zeilen- und spaltenbasierte Speicherung	30
Abbildung 6: Überblick über das einheitliche Tabellenkonzept	34
Abbildung 7: Technischer Aufbau des Performancetests	40
Abbildung 8: Ausschnitt von 100 Sales Records.csv	43
Abbildung 9: ERP-System Referenz Modell.....	54
Abbildung 10: Systemlandschaft von SAP S/4HANA.....	54
Abbildung 11: Moderne Anforderungen und S/4HANA	55
Abbildung 12: Code Pushdown	55
Abbildung 13: Zuordnung zwischen den zu persistierenden Daten und Volumes	56
Abbildung 14: Zeilen- und spaltenbasiertes Speicherverfahren.....	56
Abbildung 15: VirtualBox – Oracle Linux Hardwarespezifikationen (Performancetest).....	57
Abbildung 16: VirtualBox – OpenSuse Linux Hardwarespezifikationen (Performancetest) ...	57
Abbildung 17: Log von SAP HANA XE bei Performancetest CREATE (Performancetest)	58
Abbildung 18: Log von Oracle 18x CE bei Performancetest CREATE (Performancetest).....	59
Abbildung 19: Oracle SQL Developer Maximale Arrayabrufgröße 200 (Performancetest)....	59
Abbildung 20: SAP HANA XE Tabelle in Arbeitsspeicher laden (Performancetest)	60
Abbildung 21: Oracle 18c XE Tabelle in Arbeitsspeicher laden (Performancetest)	60
Abbildung 22:SAP HANA XE READ einzelne Zeile (Performancetest)	61
Abbildung 23: SAP HANA XE READ 50 Zeilen (Performancetest).....	61
Abbildung 24: SAP HANA XE READ 100 Zeilen (Performancetest).....	61
Abbildung 25: SAP HANA XE READ 200 (Performancetest).....	62
Abbildung 26: SAP HANA XE READ Aggregationsfunktion (Performancetest).....	62
Abbildung 27: Oracle 18c XE READ einzelne Zeile (Performancetest)	62
Abbildung 28: Oracle 18c XE READ 50 Zeilen (Performancetest).....	63
Abbildung 29: Oracle 18c XE READ 100 Zeilen (Performancetest).....	63
Abbildung 30: Oracle 18c XE READ 200 Zeilen (Performancetest).....	63
Abbildung 31: Oracle 18c XE READ Aggregationsfunktion (Performancetest).....	64
Abbildung 32: SAP HANA XE UPDATE (Performancetest)	64
Abbildung 33: Oracle 18c XE UPDATE (Performancetest).....	65
Abbildung 34: SAP HANA XE DELETE (Performancetest).....	65
Abbildung 35: Oracle 18c XE DELETE (Performancetest)	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zugriffszeit von Speichermedien	26
Tabelle 2: Tabelle Fahrzeug.....	32
Tabelle 3: Dictionary-Vektoren von Tabelle Fahrzeug	32
Tabelle 4: Attributvektor von Tabelle Fahrzeug.....	32
Tabelle 5: Performancetest CREATE der Records Sales CSV-Tabellen.....	44
Tabelle 6: Performancetest READ mit Tabelle Sales Records 1500000	44
Tabelle 7: Performancetest UPDATE mit Tabelle Sales Records 1500000	45
Tabelle 8: Performancetest DELETE mit Tabelle Sales Records 1500000	45

1 Einleitung

Enterprise-Resource-Planing (ERP) Systeme sind fester Bestandteil eines jeden modernen und erfolgreichen Unternehmens. Durch die digitale Transformation innerhalb der letzten Jahrzehnte schlossen sich mehrere Hardware- und Softwarehersteller zusammen um das beste ERP-System an den Markt zu liefern. Mittlerweile haben sich die Anbieter auf Unternehmensgrößen, Branchen und Geschäftsprozesse spezialisiert. Der Zuwachs an Datenmengen, das Internet der Dinge und der Bedarf an skalierbaren Bereitstellungsmöglichkeiten fordert Marktherrscher wie SAP¹, Microsoft² und Oracle³ als auch kleinere Mitspieler wie Sage⁴ und weclapp⁵ nach innovativen Lösungen heraus.

Ein ERP-System unterstützt Unternehmen durch mehrere Anwendungen. Diese Anwendungen unterstützen Geschäftsprozesse in ihrer Organisation und ihrem Ablauf. Das funktioniert vor allem durch die gemeinschaftliche Datenhaltung aller systemabgebildeten Geschäftsprozesse. Durch die gemeinsame Datenanbindung kann jedes Softwaremodul nützliche Daten im Zusammenhang anderer Module verwerten. So hat beispielsweise der Geschäftsprozess Produktion eine direkte Anbindung mit dem Lager, der Finanzbuchhaltung und der Qualitätssicherung. In diesem Zusammenhang wird die Zusammenarbeit der verschiedenen Arbeitsbereiche vereinfacht. So profitieren nicht nur die operativen Geschäftsprozesse von ERP-Systemen, sondern auch die Führungsebene der Institutionen. Ihnen wird durch Analysen der Daten aus dem ERP-System zu einer Entscheidungsfindung verholfen.⁶

Durch das digitale Zeitalter haben sich in der Vergangenheit verschiedene Trends für ERP-Systeme entwickelt. So verlangen Unternehmen mehr Anpassungsfähigkeit von den ERP-Systemen. Geschäftsprozesse müssen technisch flexibler an die Dynamik der heutigen Zeit angepasst werden. Anwender verlangen eine bessere Benutzerfreundlichkeit der Systeme. Führungsebenen von Unternehmen wollen Geschäftsprozesse auf Anhieb veranschaulicht kriegen und analysieren können. Diese Anforderungen beschäftigt vor allem die Wirtschaftsinformatik, da es in technischer Hinsicht schwerfällt, alle wirtschaftlichen Geschäftsprozesse mit einer einzigen Datenbasis abzubilden. Ein konkretes Hindernis ist dabei oft die separate Datenhaltung von transaktionalen und analytischen Daten.⁷

¹ [SAP_19_1]: *Produkt S/4HANA* bei sap.com.

² [M_19_1]: *Produkt Dynamic NAV* bei dynamics.microsoft.com.

³ [O_18_1]: *Oracle Enterprise Resource Planning*.

⁴ [S_19]: *ERP-Software* bei sage.com.

⁵ [WC_19]: *Ein ERP-System, das Freude macht!* bei weclapp.com.

⁶ [B_19]: *Kompaktwissen über ERP* bei Institut für Integrierte Produktion Hannover.

⁷ [BS_15]: *Enterprise Resource Planning*, Kap. 4, S.13-15.

Aufgrund der Trennung können wirtschaftliche Zusammenhänge nur durch technische Umwege in Verzug abgebildet werden. Eine einheitliche Datenhaltung zu realisieren ist aufwändiger und komplexer, als es sich zuerst anhört. Einschränkungen wie diese, bieten Potenzial für ERP-Hersteller in der freien Wirtschaft mit Lösungen herauszustechen. Dabei ist zu beachten, dass ein Wechsel eines ERP-Systems aus Sicht des Unternehmens mit hohen Aufwendungen verbunden ist. Ein neues ERP-System auf die unternehmensinternen Geschäftsprozesse anzupassen sind oft langjährige und kostenintensive Prozesse.⁸

Ein bekannter ERP-Hersteller ist das Unternehmen SAP. Aufgrund der weiten Verbreitung ihrer Systeme ist SAP als marktanteilreichstes ERP-Unternehmen als Vorreiter in der Entwicklung von ERP-Systemen wahrzunehmen.⁹ So stellte SAP am dritten Februar 2015 ihre neue Produktfamilie SAP Business Suite 4 SAP HANA, kurz S/4HANA, vor. Dabei hebt SAP mehrere Neuerungen wie die überarbeitete Benutzeroberfläche, die Integration des Internets der Dinge und die skalierbare Hardwareanbindung auf Cloud-Basis vor. Eine weitere und bedeutsame Neuerung ist die SAP High Performance Analytic Appliance (HANA) Datenbank. Die Bedeutung der SAP HANA Technologie verleitete SAP sogar dazu, die vollständige neue Produktlinie mit dem Namen zu versehen.¹⁰

Ziel dieser Arbeit ist es, aktuelle Anforderungen und Technologietrends von ERP-Systeme zu definieren, welche einen Mehrwert für Geschäftsprozesse eines Unternehmens bieten. An dem Beispielprodukt S/4HANA werden die aktuellen Technologietrends vorgestellt und kritisch analysiert. Die Ergebnisse werden anhand von Literaturarbeit und einem Experiment, einem direkten Performancevergleich zwischen den Datenbanksystemen von S/4HANA und dem aktuellen Konkurrenzprodukt von Oracle, erarbeitet. Die Arbeit richtet sich an Studenten, Unternehmen und Arbeitskreise, welche sich mit ERP-Systemen und deren Technologietrends beschäftigen.

Eine Einführung in ERP-Systeme erfolgt in Kapitel 2 *Enterprise-Resource-Planing Systeme*. Das Teilkapitel 2.1 erklärt den Bezug von Software und *Geschäftsprozessen*. Das Kapitel 2.2 *ERP-Infrastruktur* gibt einen technischen Überblick über den Aufbau von ERP-Systemen und den unterschiedlichen Datenhaltungssystemen. Das Kapitel 2.3 *Physische Datenbeschaffungsprozess* erläutert die Funktionsweise von Hardware bei einem Datenabruf. Diese Teilkapitel sind für das Verständnis der Folgekapitel relevant. Zum Ende des zweiten Kapitels werden klare 2.3 *Anforderungen an ERP-Systeme*

⁸ [HG_14]: *Basiswissen ERP-Systeme*, Kap. 2, S. 78-81.

⁹ [P_17]: *Chlash of the Titans 2017*, Kap. Market share.

¹⁰ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. Einleitung, S.15-16.

formuliert. Mit Kapitel 3 *S/4HANA* wird zu Anfang ein 3.1 *Produktüberblick* gegeben. Im darauffolgenden Kapitel werden die 3.2 *Technologieneuerungen von S/4HANA* vorgestellt. Das Kapitel 3.3 *SAP HANA* geht auf die Datenbank von S/4HANA im Detail ein. So wird im Folgekapitel die 3.3.1 *In-Memory-Technologie* und die 3.3.2 *Spaltenbasierte Tabellenabspeicherung* vorgestellt. Im Anschluss wird ein 4. *Performancetest* zwischen den Datenbanksystemen SAP HANA XE und Oracle 18c XE vorgestellt. Hierfür wird zuerst die 4.1 *Ausgangslage* des Performancetests beschrieben und anschließend auf den 4.2 *Versuchsaufbau* eingegangen. Im Folgekapitel werden die 4.3 *Ergebnisse* vorgestellt und interpretiert. Zum Schluss folgt ein 5 *Fazit*. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und mit einem Ausblick auf zukünftige Fragestellungen beendet. In den Anschlussseiten sind die Literaturquellen und Anhängedokumente zu finden.

2 Enterprise-Resource-Planing Systeme

In diesem Kapitel wird die historische Entwicklung von ERP-Systemen vorgestellt. In dem Teilkapitel 2.1 *Geschäftsprozesse* werden auf die Definition von Geschäftsprozessen eingegangen und erklärt, wie Sie zu der Entwicklung von ERP-Systemen beigetragen haben. Im Anschluss wird in dem Teilthema 2.2 *ERP-Infrastruktur* ein allgemeiner Überblick über die technische Infrastruktur und den unterschiedlichen Speichersystemen von ERP-Systemen gegeben. ERP-Systeme sind stets auf die Verwertung von Geschäftsdaten aus allen Geschäftsbereichen fokussiert. In dem Teilthema 2.3 *Physischer Datenbeschaffungsprozess* wird auf den technischen Beschaffungsprozess von Geschäftsdaten eingegangen. Zum Ende dieses Kapitels werden in 2.4 *Anforderungen an ERP-Systeme* zusammengefasst.

2.1 Geschäftsprozesse

Geschäftsprozesse bezeichnen eine Ansammlung von verbundenen Aktionen innerhalb eines Unternehmens. Das allgemeine Ziel eines Geschäftsprozesses ist die erfolgreiche Überbringung einer Dienstleistung oder eines Produktes. Folglich haben diese Prozesse eine klare Aufteilung in Start-, Zwischen- und Endzustände. Der Erfolg eines Geschäftsprozesses macht sich an den Investitionen, dem Organisationsablauf und den vordefinierten Ergebnissen aus. Geschäftsprozesse können wiederholend ablaufen und sind maßgeblich für den Unternehmenserfolg. Dabei sollten Geschäftsprozesse anpassungsfähig, wirtschaftlich und kontrollierbar sein. Sie lassen sich in operative, unterstützende und Management-Geschäftsprozesse unterteilen. Operative Prozesse dienen für das Kerngeschäft eines Unternehmens. Unterstützende Prozesse, beispielsweise das Personalwesen oder das Rechnungswesen, werden eingeführt, um die Kerngeschäftsprozesse zu unterstützen. Managementprozesse steuern den Ablauf und die Entwicklung laufender Geschäftsprozesse.¹¹

Zur erfolgreichen Abwicklung von Geschäftsprozessen können Systeme dienen, welche Start-, Zwischen- und Endzustände koordinieren und vereinfachen können. So entstanden durch den zunehmenden Automatisierungsbedarf in den 1960-Jahren die ersten unterstützenden Anwendungen für Unternehmen. Der Geschäftsprozess für die Material-Rohstoff-Planung (MRP) und Produktionsplanung und -steuerung (PPS) wurde durch zwei unabhängige Teilsysteme (Module) erstmalig durch ein System unterstützt. Diese Systeme gewannen vornehmlich in der Logistikbranche an Zuspruch. Mit der Zeit wurden die MRP-Systeme um unternehmensinterne und unterstützende Module des Finanz- und Rechnungswesens, des Vertriebs und Personalwesens erweitert. Diese

¹¹ [H_08]: *Das neue Lexikon der Betriebswirtschaftslehre*, Kap. Geschäftsfelder, S. 486-487.

Systeme wurden in den 1980-Jahren erstmalig als ERP-Systeme kenntlich gemacht. Unternehmen konnten zu dieser Zeit mit ERP-Systemen funktionsbereichsübergreifend planen und wirtschaften. Ab den 2000-Jahren verhalfen erstmalig unternehmensübergreifende Module wie das Supply-Chain-Management (SCM) oder das Customer-Relationship-Management (CRM) zu einer engeren Zusammenarbeit mit Lieferanten und Kunden. Dieser Zusatz entwickelte sich in dem Namen als ERP-II-System. Mit dieser Entwicklung waren alle Informations- und Wertschöpfungsketten zwischen externen und internen unternehmensrelevanten Geschäftsprozessen vollständig in ERP-Systeme übertragen. Auf entsprechender Datenbasis konnten nun Lieferengpässe frühzeitig identifiziert und auf Vorschlagsbasis umdisponiert werden. Individuelle Kundenwünsche nahmen direkten Einfluss auf den Herstellungsprozess und die damit verbundenen Anschaffungsprozesse. So entwickelte sich der Einsatz eines ERP-Systems zu Zeiten von kurzfristigen Änderungen und dynamischen Anpassungen zu einem entscheidenden Wirtschaftsfaktor. Heutzutage sind ERP-Systeme fester Unternehmensbestandteil. Sie decken standardisierte, aber auch branchenspezifische Geschäftsprozesse ab und befinden sich in stetiger Entwicklung.¹²

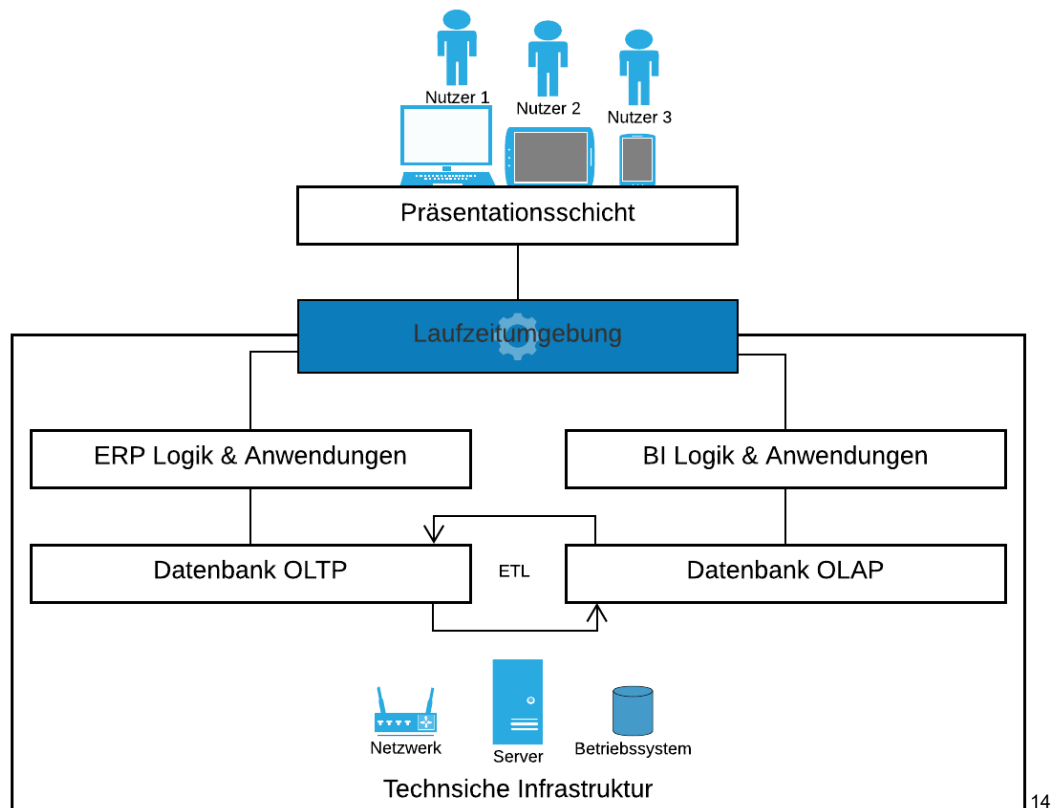
Stets im Fokus von ERP-Systemen ist die Durchführung von Planungsszenarien und Vorhersagemöglichkeiten von unternehmensrelevanten Ereignissen. Das Analysieren von Daten aus operativen Geschäftsprozessen lässt sich nur beschränkt auf ERP-Systemen ausführen. Analytische Abfragen, welche hervorsehen, Daten zu aggregieren und mit komplexen Formeln zu berechnen, sind auf ERP-Ebene umständlich und technisch beschränkt ausführbar. Business Intelligence (BI) bietet diese Analysemöglichkeit und wird oft mit dem ERP-System in Kombination eingesetzt. Business Intelligence bezieht die gleichen ERP-Transaktionsdaten, extrahiert, transformiert und importiert diese Daten in eine separate Datenbank. Dadurch wird das Analysieren großer Datenmengen möglich gemacht. Der BI-Ansatz hat seinen Ursprung aus den 1960-Jahren. Damals erzeugten Management-Information-Systeme (MIS) und Decision-Support-Systeme (DSS) Berichte mit starren Kennzahlen. Leider stießen diese Systeme aufgrund von komplizierter Bedienung auf wenig Akzeptanz. In den 1990-Jahren wurde dies mit dem Konzept des Data Warehouse (DWH), der Datenbasis von Business Intelligence, wiederlegt. Heute findet Business Intelligence vor allem in großen und mittelständischen Unternehmen Einsatz.¹³

¹² [BS_15]: *Enterprise Resource Planning*, Kap. 1, S. 4-7.

¹³ [L_16]: *Was ist Business Intelligence – BI?* bei bigdata-insider.de.

2.2 ERP-Infrastruktur

Das folgende Kapitel geht auf die Infrastruktur von ERP-Systemen ein und ist relevant für das Verständnis der Technologieentwicklungen in Kapitel 3.3 *SAP HANA*. In der folgenden Abbildung ist das Zusammenwirken der einzelnen technischen Instanzen veranschaulicht. ERP-Systeme bestehen aus einer Präsentations-, Anwendungs- und Datenbankenschicht. Die folgende Graphik wird in dem folgenden Abschnitt von oben nach unten erläutert:



14

Abbildung 1: ERP-System Referenzmodell

Nutzer von ERP-Systemen kriegen durch die **Präsentationsschicht** den Stand der laufenden Geschäftsprozesse vermittelt. Die Präsentationsschicht bezeichnet dabei die graphische Veranschaulichung von operativen und analytischen Geschäftsprozessen. Die Veranschaulichung erfolgt in der Regel auf einem technischen Endgerät. Welche Endgeräte die graphische Oberfläche präsentieren können, unterscheidet sich von dem ERP-System und dem Hersteller. Ein gängiger Standard ist der Computerbildschirm, jedoch hat sich durch die Dynamik von Geschäftsprozessen ein stetiger Zugriffsbedarf nach mobilen Endgeräten entwickelt. Für die Veranschaulichung bezieht die Präsentationsschicht aufbereitete Daten aus der Laufzeitumgebung.

¹⁴ Eigene Darstellung in Anlehnung an Abbildung 9: ERP-System Referenz Modell und Abbildung 10: Systemlandschaft von SAP S/4HANA

In der **Laufzeitumgebung** werden Anwendungen aus den ERP- und BI-Anwendungen aufbereitet. Die Laufzeitumgebung fungiert dabei als Schnittstelle zwischen dem technischen System und der Präsentationsschicht. Bei der Vermittlung von Geschäftszuständen bezieht sich die Laufzeitumgebung auf die vollständige technische Infrastruktur. Dies beinhaltet die Netzwerk-, Hardware-, und Betriebsebene. Die Verarbeitungsdaten für die Laufzeitumgebung werden von der Applikationsebene gestellt.

Die **Applikationsebene** bezeichnet die Berechnungslogik der ERP- und BI-Systeme. Sie verarbeitet Datenansammlungen in einen zusammenhängenden Kontext. Für ERP- und BI-Systeme ist eine separate Applikationsebene vorgesehen. Durch den separaten Datenbezug innerhalb der Datenbankschicht ist eine getrennte Applikationsebene erforderlich. Sie aggregiert und transformiert die Rohdaten verschiedener Tabellensätze aus der Datenbankschicht. Im Anschluss werden die weiterzuverarbeitenden Qualitätsdaten an die Laufzeitumgebung übergeben.

Die **Datenbankschicht** umfasst alle Datenbanksysteme, welche mit der ERP- und BI-Applikationsebene verbunden sind. Bei ERP-Systemen kommen Online Transaction Processing, kurz OLTP-Datenbanken, als zentrale Speichereinheit zum Einsatz. OLTP-Datenbanken speichern alle Transaktionsdaten von Geschäftsvorgängen, wie zum Beispiel von Rechnungseingängen, Kundendaten oder Lagerabgängen. Die Speicherung erfolgt in zeilenbasierter Tabellenform. Aufgrund dieser Struktur können OLTP-Systeme unkomplizierte Anfragen innerhalb kurzer Antwortzeit verarbeiten.¹⁵

Bei BI-Systemen kommen Online Analytical Processing, kurz OLAP-Datenbanken, zum Einsatz. OLAP-Datenbanken sind für analytische Abfragen geeignet und sind daher mit der BI-Logik verknüpft. OLAP-Datenbanken beziehen die Transaktionsdaten aus der OLTP-Datenbank. Hierfür werden die Daten speziell für Analysezwecke spaltensortiert aufbereitet. Dieser Vorgang ist sehr zeitintensiv und wird als Extraktions-, Transformations- und Ladeprozess (ETL) Prozess bezeichnet. ETL beschreibt den Vorgang, Daten aus unterschiedliche Datenquellen, auf eine gemeinsame Abstraktionsstufe zu ebnen. Dadurch entstehen aufwändige multi-dimensionale Datenschemas. Eine mögliche Anfrage wäre zum Beispiel die Abfrage des prozentualen Anteils von unbezahlten Rechnungen für ein spezifisches Produkt in einer speziellen Region während eines spezifischen Zeitraumes. Solche Erkenntniszahlen sind für Führungsebenen interessant, können jedoch auch durch den Vorgang der Retraktion, in die ERP-Systeme für operative Geschäftsprozesse eingebunden werden.¹⁶

¹⁵ [I_18]: *Three-Tier-Architektur* bei itwissen.info.

¹⁶ [KS_12]: *Data Warehousing*, Kap. OLTP vs. OLAP, S. 4-7.

Die Trennung beider Datensysteme war eine notwendige Kompromisslösung, da Hard- und Softwarebedingt keine Vereinigung zwischen dem transaktionsorientierten und analyseorientierten Datenaufbereitungsprozess realisiert werden konnte. Transaktionsdaten werden tagtäglich generiert. Daher ist eine zeilenbasierte Speicherstruktur sinnvoll. Dies steht im Kontrast zu analytischen Daten. Diese müssen ständig in einem multi-dimensionalen Zusammenhang angeordnet werden. Dafür ist eine spaltenbasierte Speicherstruktur sinnvoll. Aufgrund der Anforderungen, viele Daten zu schreiben und gleichzeitig lesen zu können, entwickelten sich zwei unterschiedliche Datenhaltungssysteme. OLAP-Systeme transformieren die zeilenbasierten OLTP-Daten erst im Verzug in Spalten. Dadurch leidet die Aktualität der Analyseberechnungen, da der Datenabgleich nicht in Echtzeit durchgeführt werden kann. „Datenaktualisierungen finden nur periodisch durch Abzüge operativer Systeme statt“, klagt Klaus Manhart. Produktive OLAP-Systeme werden beispielsweise, erst monatlich, bei Nacht oder stündlich, mit den neu generierten Transaktionsdaten abgeglichen und synchronisiert. Erst danach befinden sich OLAP-Datenschemas in Echtzeit, wenn auch nur für einen kurzen Moment. Dabei könnten Analysen im laufenden Betrieb eines ERP-Systems zum Beispiel frühzeitig Engpässe erkennen, Mitarbeiterschichten sinnvoller planen oder sogar auf Nachrichtenmeldungen reagieren.¹⁷

2.3 Physischer Datenbeschaffungsprozess

Das folgende Thema bezieht sich auf das Zusammenwirken der physischen Einheiten bei einem Datenabruf und der Berechnung. Dabei beruhen die Funktionsweise und die Zugriffsgeschwindigkeit von ERP- und BI-Systemen auf den eingesetzten Hardwarekomponenten und der Speicherstruktur von Daten. Dieses Teilkapitel ist relevant für das Verständnis der 3.3.1 *In-Memory-Technologie*.

Der Kern des Datenbeschaffungsprozesses ist der Prozessor. Der Prozessor oder Computing-Processing-Unit (CPU) stellt die Hauptlogik in der physischen Schicht dar. Die CPU vermittelt Speicherindizes an die Datenbanksysteme und kontrolliert den Datenfluss (Datenbus) sämtlicher Komponenten. Kerneigenschaft des Prozessors ist die flüchtige Berechnung von Daten. Innerhalb des Prozessors befinden sich lediglich Verwaltungs-, Berechnungs- und Kommunikationswerkzeuge, die zur *Atomarität*, *Konsistenz* und *Isolation* von Datensätzen beitragen. Daten werden auf dem Prozessor nicht gespeichert, sondern von dem Arbeitsspeicher abgerufen.¹⁸

¹⁷ [M_08]: *BI-Methoden* bei tecchannel.de.

¹⁸ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 1, S. 20–24.

Der Arbeitsspeicher oder auch Dynamic Random-Access-Memory (DRAM) ist angeschlossen an den Datenbus und liefert die Datenquellen an die CPU. Der Arbeitsspeicher speichert übergebene Daten von dem Festplattenspeicher zwischen. Nach der Datenübergabe an den Prozessor werden die flüchtigen Daten wieder überschrieben. Wie die CPU, ist auch der Arbeitsspeicher kein persistentes Speichermedium. Sollte der Prozessor mit Berechnungen ausgelastet sein, kann der Arbeitsspeicher kurzzeitig seinen Zustand sichern und Daten flüchtig bis zur Bereitstellung halten. Die Rolle des Arbeitsspeichers entlastet den Prozessor, da dieser sich nicht um die Absprache mit dem persistenten Festplattenspeicher kümmern muss und um das 100.000-fache schneller ist als der Festplattenspeicher.

Der Festplattenspeicher stellt den Speicherort für persistent abzuspeichernde Daten bereit. Der Festplattenspeicher ist die preisgünstigste Komponente aufgrund der deutlich langsameren Geschwindigkeit. Im Vergleich zu dem Arbeitsspeicher, hat der Festplattenspeicher ein Vielfaches mehr an Speicherplatz und ist im laufenden Betrieb austausch- und erweiterbar. Die wichtigste Kerneigenschaft des Festplattenspeichers ist die *Dauerhaftigkeit* der Daten im ausgeschalteten Betrieb. Die Aufgabe des Festplattenspeichers ist die Übergabe von Speicher Indizes an den Arbeitsspeicher, welche im Anschluss von dem Prozessor zum Datenfluss freigegeben werden.¹⁹

ERP- und BI-Systeme haben den Fokus, Daten in größeren Mengen schneller abrufen zu können. Mit der Weiterentwicklung von den einzelnen Komponenten wird versucht, den gesamten Datenbeschaffungsprozesses zu beschleunigen. So wurde der über Jahrzehntlange Festplattenspeicher Hard-Disk-Drive (HDD) verworfen und durch die 25-Fach schnellere Solid-State-Disk (SSD) Ende 2008 revolutioniert.²⁰ Durch die erreichte Komplexität in der Weiterentwicklung von Hardware-Komponenten treten Grenzen auf. So entstanden in der Vergangenheit Ansätze, welche das Gesamtkonzept von dem Datenbeschaffungsprozesses überdacht haben. Durch einen nicht flüchtigen Arbeitsspeicher (MRAM)²¹, neu erforschte Speicherstrukturen oder einer Verarbeitung im Arbeitsspeicher (In-Memory-Computing), wurde das Ziel verfolgt, den persistenten Speicher teilweise oder vollständig zu umgehen. Dieser Einfall ist nicht neu, sondern schon im Jahre 1984 von DeWitt et al. ausgeschrieben worden.²² Dabei stoßen die neuen Technologien bis heute noch auf kritisch einzuhaltende AKID-Konformitäten und abweichende Datenstrukturen.

¹⁹ [B_05]: *Kompendium der Informationstechnologie*, Kap. 1, S. 8–11.

²⁰ [PS_08]: *Comparing Performance of Solid State Devices and Mechanical Disks*, Kap. Abstract, S. 1.

²¹ [OC_17]: *Neue MRAM-Speicherklasse verhält sich wie nicht-flüchtiges DRAM* bei elektronikpraxis.vogel.de.

²² [DK_84]: *Implementation techniques for main memory database systems*, Kap. 2, S. 1.

2.4 Anforderungen an ERP-Systeme

Die Zukunft von ERP-Systemen lässt sich nicht pauschal definieren. Die Richtung von zukünftigen Entwicklungen bestimmt primär der branchenspezialisierte ERP-Hersteller auf Nachfrage seiner Kunden. Durch immer größer werdende Anfragen von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) hat sich der Einsatz von ERP-Systemen schon ab 100 Mitarbeitern als Standard etabliert. In diesem Bereich kursieren unzählige ERP-Lösungen. Ob sich die erfahrenen ERP Hersteller über den Pionieren durchsetzen, ist ungewiss. ERP-Systeme pflegten einen jahrzehntelangen Standard. Durch die Globalisierung und Digitalisierung, der benötigten Flexibilität und einer schnellen Anpassungs- und Reaktionsgeschwindigkeit in der Wirtschaft, lassen sich gewisse Trends hinsichtlich ERP-Systemen identifizieren. Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (Bitkom) veröffentlichte im Oktober 2015 ein Dokument zu ERP-Systemen, deren Vorteile und Trendrichtungen. Die Bitkom ist der Digitalverband Deutschlands und vertritt mit über 2600 Unternehmen einen großen Anteil von mittelständischen Unternehmen Deutschlands. Das Dokument „ERP – Bausteine einer betriebswirtschaftlichen Komplettlösung“ geht insbesondere auf die Zukunft von ERP-Systemen, der Architektur und der Analyseigenschaften ein.²³

Der folgende Abschnitt fasst die Anforderungen an ERP-Systeme unter vier Kernpunkten zusammen:

Benutzerfreundlichkeit: Eine Weboberfläche dient heutzutage als Standardansicht für ERP-Anwendungen. Browserbasierte Anwendungen funktionieren auf allen Endgeräten, unabhängig des Betriebssystems. Anwender sehnen sich zudem nach einem Konfigurationsspielraum ihrer Ansicht. Ein intuitiver Standard sollte für die Anwendung gegeben sein und zusätzlich Optionen bereithalten, Diagramme, Schnellzugriffe und Komfortfunktionen individuell anpassbar zu gestalten. Im Bestfall ist der Anzeigehalt für den Anwender nach der Rolle und dem Arbeitsbereich vorkonfiguriert. Diese Vorkehrungen steigern nicht nur die Produktivität der Anwender, sondern senken die Einführungskosten eines ERP-Systems. Durch einen Funktionsüberhang und Informationsüberfluss in der Präsentationsschicht waren in der Vergangenheit aufwendige und kostspielige Schulungen notwendig.

ERP als SaaS: Durch den aktuellen Umschwung von implementierter Software von betriebsinterner Hardware auf das Cloud-Computing, entsteht ein heikler Diskurs über die Cloud-Anbindung von ERP-Systemen. Cloud-Computing bezeichnet die Bereitstellung und den Betrieb von Software als Service (SaaS) über das Internet. Durch Cloud-Computing kann Software nach Bedarf, unabhängig von Zeit und Ort, bezogen

²³ [BS_15]: *Enterprise Resource Planning*, Kap. 4, S. 13-16.

werden. Die eigene Hardwareanschaffung von leistungsstarken und kostenintensiven Servern wird auf externe Rechenzentren ausgelagert. Die meist kostengünstigere Nutzung von Software und deren Betrieb wird nach Inanspruchnahme-Modellen (pay-per-use) vergütet. Ein ERP-System auf Basis von Cloud-Computing senkt die gesamten Haltungskosten (TCO) des Systems. Es lässt sich an den Verbrauch skalieren und gewährt eine konstante Performance. Weitere herausstechende Vorteile sind die technisch vereinfachten Zugriffsmöglichkeiten für Endgeräte und die Modularität von ERP-Systemen. Durch Modularität können einzelne Module zum bestehenden ERP-System, ohne großen Aufwand, hinzugefügt und entfernt werden. Trotz kürzerer Implementierungszeiten, automatisierten System und Software Updates sind ERP-Systeme auf Cloud-Basis (ERPaaS) kritisch zu hinterfragen. Die Gefahr einer Abhängigkeit des ERPaaS-Anbieters, eines Systemausfalls oder des Verlustes aller unternehmensrelevanten Daten sollten intensiv behandelt werden. „ERPaaS-Systeme werden sich“, trotz Risiken, „weiterentwickeln und an Bedeutung gewinnen“, bekräftigt Dr. Bernhard Gärtner.²⁴

Offenheit: Durch das Internet der Dinge sind simple einzubindende Datenschnittstellen an ERP-Systeme gefordert. Der steigende Datenzuwachs unterschiedlichster internetfähiger Geräte schafft außerordentliches Analysepotenzial. Durch Cyber-physische Systeme (CPS) können Geräte mithilfe von Sensorik und Informationstechnologie Zustände protokollieren. CPS übernimmt eine zentrale Rolle in der Industrie 4.0. Produktionskomponenten können dadurch kontinuierlich Zustandszyklen des jeweiligen Geschäftsprozesses protokollieren. Ein ERP-System sollte diese Art von Datensätzen in Echtzeit auswerten und analysieren können. Hersteller von ERP-Systeme sollten die traditionelle Sicht verwerfen, innerhalb des Systems, nur eigen entwickelte Module zuzulassen. Unter dem Kernpunkt *Offenheit* ist die Anbindung externer Applikationen, Datenbanken und sämtlicher interner Endgeräte zu verstehen.²⁵

Business Data: „Neben der ursprünglichen Aufgabe, Unternehmensprozesse zu organisieren und damit zu steuern, kommen heute mehr und mehr planerische Aufgaben zur strategischen (künftigen) Ausrichtung des Unternehmens.“, bekräftigen Dirk Bingler et. al. Business Data fordert Analyseverfahren, wodurch sich Verhalten vorhersagen und steuern lassen, um gewünschte Unternehmensziele zu erreichen. Dabei ist der analytische Datenaufbereitungsprozess (Business Intelligence) nicht mehr strikt von dem operativen Datenaufbereitungsprozess (ERP) zu trennen. Beide Systeme beruhen aufeinander. So brauchen operative Geschäftsprozesse, strategische Richtwerte in

²⁴ [GV_17]: *ERP as a Service*, Kap. ERP as a Service, S. 54–59.

²⁵ [GC_16]: *Analytische Informationssysteme*, Kap. 13.3.1, S. 271.

Form von Daten, um die jeweiligen Geschäftsprozesse geschäftsgetreu umzusetzen. Umgekehrt werden Analysedaten aus den operativen Transaktionsdaten generiert. Diese Abhängigkeit befindet sich aufgrund der technologisch inhomogenen Datenstruktur im Zeitverzug. Es sind daher neue Technologieansätze gefordert, welche in Echtzeit massive Datenmengen effektiv und effizient, hinsichtlich analytischer und operativer Geschäftsprozesse, aufbereiten. Mit dieser Technologie sollte mit angemessener Reaktionsgeschwindigkeit auf Unternehmensereignisse reagiert werden. Aufgrund der aktuellen Komplexität wird momentan ein zu hoher Zeitaufwand mit kostspieligen Fachkräften benötigt.²⁶

Aus den Anforderungen lässt sich ableiten, dass ein Mehrwert für Geschäftsprozesse durch benutzerfreundlichere, leicht skalierbare und schnittstellenfähige ERP-Systeme mit homogener Datenstruktur und Analysewerkzeugen in Echtzeit, erreicht werden kann.

²⁶ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 1.1.2, S. 27–31.

3 S/4HANA

In diesem Kapitel werden die Technologienerneuerungen der Produktpalette von S/4HANA vorgestellt. Das nächste Kapitel verschafft zu aller erst einen *3.1 Produktüberblick*. In dem Kapitel *3.2 Technologienerneuerungen* wird S/4HANA durch das ERP-Referenzmodell aus *2.2 ERP-Infrastruktur* vorgestellt. Dabei wird auf die Schnittstellenfähigkeit, die Cloud-Bereitstellung und allgemeine Prinzipien von S/4HANA eingegangen. Mit dem Kapitel *3.3 SAP HANA* wird die Datenbanktechnologie von S/4HANA vorgestellt. In dem folgenden Teilkapitel wird die Funktionsweise der *3.3.1 In-Memory-Technologie* von SAP HANAs Datenbank vorgestellt. Mit dem Teilkapitel *3.3.2 Spaltenbasierte Tabellenabspeicherung* wird auf das Konzept der einheitlichen Tabelle eingegangen.

3.1 Produktüberblick

SAP hat mit der Produktfamilie S/4HANA eine technische Renaissance für ERP-Systeme angekündigt. Der Produktname setzt sich zusammen aus einem S, für „einfach“ (engl. simple), einer vier für die Produktversion und HANA wegen der systemoptimierten Datenbank. Die neue Produktfamilie soll chronologisch die Vorgängerversion SAP R/3 ablösen. SAP hält mit ihren Systemen die marktanteilreichste Dichte. Das Unternehmen investiert jährlich steigende Budgets in die Forschung und Entwicklung ihrer Produkte. So kann SAP mit 3044 Millionen Euro in Forschung und Entwicklungsausgaben und 28 Prozent an vollzeitigen Forschungsmitarbeitern im Jahre 2016 durchaus als Vorreiter in der Entwicklung von ERP-Systemen ernst genommen werden. SAP spezialisiert sich auf Unternehmen mit mehr als 200 Mitarbeitern. Mit der neuen Business Lösung, die auch cloudbasiert bezogen werden kann, werden mittels abstrahierter S/4HANA Versionen auch erstmalig kleine (SAP Anywhere und SAP Business One) und mittelständische Unternehmen (SAP Business ByDesign) untergebracht.²⁷

S/4HANA beinhaltet im Vergleich zu SAP R/3 nicht nur gravierende technische Änderungen, sondern auch prozessuale und funktionelle Überarbeitungen. Mit S/4HANA ist der Grundsatz des „Principle of one“ verknüpft.²⁸ Aufgrund der vielen Möglichkeiten in der vorherigen Produktversion mit SAP ERP (Basistechnologie SAP R/3), konnten Entwickler durch verschiedene Technologien und Programmiersprachen Anforderungen lösen. Dies hatte zur Folge, dass klardefinierte Anforderungen mit verschiedenen Mechanismen gelöst werden konnten. Aufgrund der vielen Lösungsverfahren war ein komplizierter, komplexer und kostenintensiver Aufwand für das Pflegen und Warten des ERP-Systems nötig. In Zukunft sieht SAP für bestimmte Anforderungen idealerweise nur

²⁷ [SAP_17]: *Produkte Forschung und Entwicklung und Services* bei sap.com.

²⁸ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. 3.1, S. 102–104.

eine Implementierungsmöglichkeit vor. Folglich sehen Unternehmen ihre in R/3 speziell konfigurierten Module in Gefahr, denn diese müssen auf der S/4HANA Plattform von neu auf eingerichtet und angepasst werden. SAP versteht den zu betreibenden Aufwand eines Modulwechsels und versucht daher mit konzeptionellen Modellen den Wechsel zu vereinfachen.²⁹ Eine weitere Hürde stellt der Umzug von ursprünglich verwendeten Datenbanken auf die systemeigene SAP HANA Datenbank dar. S/4HANA setzt nämlich die SAP HANA Datenbank voraus. SAP HANA hat eine überarbeitete Datenstruktur mit In-Memory Technologie, wodurch Module von S/4HANA der Problematik aus Teilkapitel 2.3 *Physischer Datenbeschaffungsprozess* gerecht werden. Die Vorteile mit S/4HANA beziehen sich zudem nicht nur auf funktioneller, sondern auch monetärer Basis.

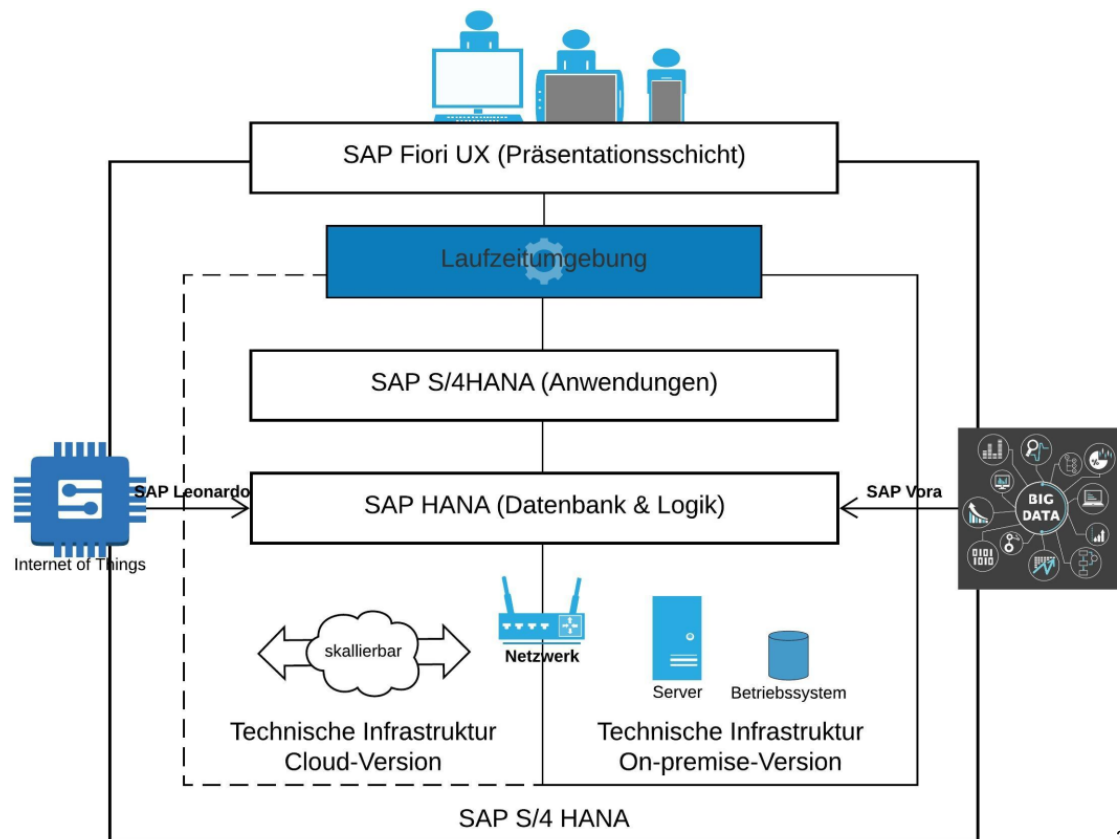
So berechnete das Unternehmen Forrester Consulting die Gesamtkosten des Betriebs (TCO) von SAPs ERP-Lösungen im jeweiligen Vergleich, mit und ohne Einsatz von SAP HANA. Die Studie sagt aus, dass mit dem Einsatz von SAP HANA, 70 Prozent an Software-, 15 Prozent an Hardware- und 20 Prozent an administrativen Kosten eingespart werden kann. Im Gesamtergebnis können 37 Prozent an TCO eingespart werden. Bei den Zahlen ist zu beachten, dass Unternehmen bei einem Umstieg auf S/4HANA individuell aufgestellt sind. Die 37 Prozent sollten nur als Richtwert dienen, da sich Einsparungen aufgrund von hohen Investitionskosten erst nach Jahren bemerkbar machen.³⁰ In den Vorschein treten sollten die Technologienerneuerungen von S/4HANA.

3.2 Technologienerneuerungen

Die Technologienerneuerungen von S/4HANA werden in diesem Abschnitt anhand eines Abbilds des ERP-Referenzmodells aus dem Teilkapitel 2.2 *ERP-Infrastruktur* erläutert. Aus dem Teilkapitel 2.4 *Anforderungen an ERP-Systeme* halten wir hierfür die Kernanforderungen *Benutzerfreundlichkeit*, *ERP als SaaS*, *Business Data* und *Offenheit* fest. Diese Anforderungen repräsentieren die Grundlage für die Entwicklung der neuen Technologien in S/4HANA. Dieser Abschnitt dient zur groben Übersichtsicht des Gesamtkonstrukts von S/4HANA. Das Folgethema 3.3 *SAP HANA* hingegen erläutert die Technologienerneuerungen der SAP HANA Datenbank, fester Bestandteil von S/4HANA, im Detail. Die Systemlandschaft von S/4HANA ist in der unterstehenden Grafik veranschaulicht und wird im folgenden Abschnitt von oben nach unten erläutert:

²⁹ [SF_17]: SAP HANA, Kap. 7.1.1, S. 229-231.

³⁰ [P_14]: *Projected Cost Analysis of the SAP HANA Platform*.



31

Abbildung 2: S/4HANA hinsichtlich ERP-System Referenzmodell

SAP Fiori ist das neue Modul für die graphische Ansicht innerhalb der S/4HANA Produktfamilie. Grund für die Neuerung war die nicht benutzerfreundliche und transaktionale Ansicht von SAP GUI aus R/3, welche oft mit unterschiedlichen Benutzerrollen und Funktionen im Überhang generiert wurden. Demnach war ein hoher Schulungsaufwand der Mitarbeiter nötig. Dies trug zu einer geringeren Zustimmung des ERP-Systems im Unternehmen bei. Mit SAP-Fiori bietet SAP ein „rollenbasiertes, auf den Anwender zugeschnittenes Arbeiten auch auf mobilen Geräten“ an. Von der üblichen transaktionsbasierten Oberfläche gelang es mit SAP Fiori, Anwender in den Mittelpunkt zu stellen. SAP Fiori bietet ein Portfolio an über 500 analytischen, transaktionalen und Fact-Sheet Apps an. Fact-Sheet-Apps geben den Anwendern einen rollenspezifischen 360-Grad-Blick auf die laufenden Geschäftsprozesse. Für den einzelnen Anwender lassen sich Fact-Sheet-Apps nach Belieben anordnen. Entwickler können mithilfe umfangreicher Bibliotheken und Anwendungselementen sogar eigene responsive Apps herstellen und individuelle Geschäftsprozesse graphisch abbilden.³²

³¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Abbildung 11: Moderne Anforderungen und S/4HANA

³² [K_16]: SAP S/4HANA, Kap. 2.4, S. 84–90.

Die Laufzeitumgebung verbindet die SAP Fiori Präsentationsschicht mit der ERP-System Logik. Die Laufzeitumgebung wird aus der **technischen Infrastruktur** heraus generiert. S/4HANA verfolgt dabei zwei Bereitstellungsmöglichkeiten. Die herkömmliche Bereitstellung ist die „On-Premise-Version“. Dabei werden die ERP-System und Datenbanklogik auf innerbetrieblichen Servern installiert und gewartet. Die Datenhaltung und Systemverantwortung bezüglich Hardwareanschaffung, Instandhaltung und Konfiguration befindet sich auf der Unternehmenseite. Die zukunftsorientiertere Bereitstellungsmöglichkeit wird durch die S/4HANA-Cloud realisiert. Die Datenhaltung und Systemverantwortung wird auf die Rechenzentren SAPs übertragen.³³ Die Cloud-Version hat einen leicht eingeschränkteren Funktionsrahmen, verfügt dennoch über alle Kernprodukte der S/4HANA Produktfamilie. Beide Versionen haben Vor- und Nachteile und werden nach unterschiedlichen Lizenzmodellen verrechnet. So lassen sich unternehmensinterne Erweiterungen und Datenanbindungsmodule nur mit der „On-Premise-Version“ realisieren, wohingegen die Cloud-Version eine kürzere Einführungszeit und skalierbare Hardwareressourcen anbietet.³⁴ Eine Handlungsempfehlung hinsichtlich der Bereitstellungsart würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten.

Da einige Geschäftsprozesse mit externen SAP Applikationen abgebildet sind, bietet SAP HANA offene **Schnittstellen** für externe Datentabellen. Dabei stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. So bietet die S/4HANA Produktfamilie mit dem Produkt **SAP Vora** eine Schnittstellenlösung für Big Data an. Im Zusammenhang mit Big Data fällt oft das Stichwort Hadoop. Hadoop ist ein plattformunabhängiges verteiltes Dateiensystem, welches Integrationsmöglichkeit von Big Data anbietet. Durch Hadoop ist der Abgleich von riesigen Datenmengen unterschiedlicher Datenhaltungssysteme, unter anderem SAP HANA, möglich. Big Data ist strukturlos, eine Ansammlung von Daten ohne Kennwerte (Data Lake), welche ERP-Systeme für ihre Funktionalität zwingend strukturiert aufnehmen müssen. Mithilfe von SAP Vora wird der Mechanismus von Hadoop verknüpft und mit der Möglichkeit bereitgestellt, eine Struktur in den massiven und unstrukturierten Datenmengen einzubringen. Durch diesen Vorgang können mit SAP HANA transaktionale und analytische Vorgänge auf externen basierten Datenquellen abgebildet werden. SAP Vora stellt sicher, dass bei Datenänderungen des kopierenden Hadoop Distributed File Systems (HDFS), sich Datenänderungen in den sinnvoll angelegten Strukturen in SAP HANA in Echtzeit mitverändern.³⁵

³³ [G_18]: *S/4 HANA On-Premise Vs S/4 HANA Cloud* bei [blogs.sap.com](https://blogs.sap.com/2018/08/20/s4hana-on-premise-vs-s4hana-cloud/).

³⁴ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. 1.3.2, 43–45.

³⁵ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 2.2.4, S. 57–60.

Mit dem Produkt **SAP Leonardo** bündelt S/4HANA die zukunftsorientierten Ansätze des Internets der Dinge. SAP Leonardo schafft Schnittstellen für internetfähige Geräte und bietet die Verarbeitung der generierten Daten auf der SAP HANA Datenbank an. Das Konzept Maschine-zu-Maschine (M2M) bietet nicht nur die Schnittstelleoperabilität, sondern weitere zukunftsmodernen Technologien auf SAP HANAs Datenbasis. M2M stellt dabei ein Konzept für die Kommunikation von Geräten mit Systemen dar. So hält SAP Leonardo weitere Industrie 4.0 Produkte für Machine Learning, Blockchain und Data Intelligence bereit.³⁶

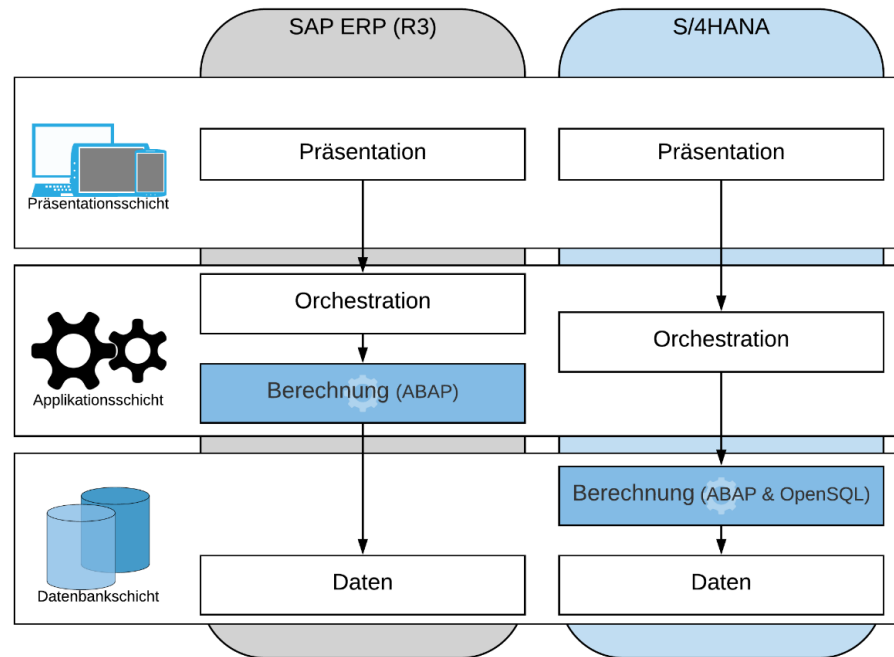
Innerhalb der Technischen Infrastruktur befinden sich die S/4HANA Anwendungen und die SAP HANA Datenbank. Beachtlich ist dabei, dass S/4HANA nicht mehr die Anwendungsschicht als logische Verarbeitungsschnittstelle kennzeichnet. Dies ist zurückzuführen auf das sogenannte „**Code Pushdown**“ Konzept. Aufgrund der jahrelangen Entwicklung mit SAPs eigenentwickelter Programmiersprache Advanced-Business-Application-Programming (ABAP), verlagerten Entwickler aus Komfortgründen die Datenaufbereitung von der Datenbankenschicht auf die Applikationsschicht. Dies hatte zur Folge, dass Datenbanken große Datensätze in die Applikationsserver geladen haben. Im Anschluss wurden die Datensätze auf der Applikationsebene angeordnet, selektiert und aggregiert. So verloren Datenbanken ihren eigentlichen Sinn als Mechanismus zur Datenaufbereitung. Applikationsserver haben ihre Stärken hingegen nicht auf der Datenverarbeitung, sondern bei dem Anordnen und in dem Zusammenhang setzen von bereits verarbeiteten Datensammlungen. Das Konzept des „Code Pushdown“ bezeichnet den Vorgang, rechenintensive Kalkulationen von der Applikationsebene auf die Datenbankenschicht zu „drücken“. Diese Umstellung wäre von keiner großen Bedeutung für das SAP ERP System aus R/3. Unter Betrachtung des signifikanten Performancegewinns von SAP HANA, ändert sich dieser Grundgedanke. Mit SAP HANA kommt ein spezialisierter Datenaufbereitungsmechanismus, welcher eigene und extern angeknüpfte Datentabellen in höchster Geschwindigkeit (siehe 3.3 *SAP HANA*), noch vor der Übertragung an die Applikationsebene, verarbeitet. Die Applikationsebene kann sich dadurch wieder ihrer ursprünglichen Aufgabe, des „Orchestrierens“ der Daten für die Präsentationsschicht, widmen.³⁷ Im Zusatz zu der eingesetzten ABAP Sprache aus R/3, erweiterte SAP mit S/4HANA das Kompilieren von Datenbankenanfragen mit der standardisierten Datenbanksprache **Open SQL**.³⁸ Dies schafft einen Anreiz für Entwickler, ohne Umwege durch die Applikationsebene in technischer und funktionaler Hinsicht, mit Daten effektiver umzugehen.

³⁶ [AR_19]: *SAP HANA – Datenmodellierung*, Kap. 27, S. 80.

³⁷ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. 2.2, S. 61–63.

³⁸ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. 2.2.3, S. 72–74.

Folgende Graphik veranschaulicht das Prinzip des „Code Pushdown“ und die Bedeutung von Open SQL im Vergleich zu dem Vorgängerprodukt von S/4HANA:



39

Abbildung 3: Prinzip des Code Pushdown

In dieser Arbeit kann nicht auf alle Schnittstellen und damit verbundenen Konzepte von S/4HANA eingegangen werden. Die oberliegenden Abschnitte sollen lediglich einen Überblick über die vorhandenen Module und die Prinzipien von S/4HANA verschaffen.

3.3 SAP HANA

Der Fokus von S/4HANA Modulen liegt gezielt auf der performanten Datenverarbeitung von der Datenbank SAP HANA. Die Entwicklung von SAP HANA ist durch den digitalen Wandel, Industrie 4.0, Big Data und dem Internet der Dinge entstanden. SAP HANA ist als transaktionale In-Memory Datenbank (IMDB) und Entwicklungsplattform zu klassifizieren und gilt als Basistechnologie für SAP Systeme. In den folgenden Kapiteln wird auf technischer Ebene vorgestellt, welche Faktoren für SAP HANAs Performance verantwortlich sind. In Kapitel 3.3.1 *In-Memory-Technologie* wird die Funktionsweise der Speicherung auf dem Arbeitsspeicher vorgestellt. Das darauffolgende Kapitel thematisiert die 3.3.2 *Spaltenbasierte Speicherung* von Tabellen und der zugehörigen Datenkomprimierungstechnologie. SAP HANA hält Transaktions- und Analysedaten in einer einzigen Datenbasis, wodurch SAP ihren Kunden „Potenzial“ verspricht, „Anwendungen und Lösungen aufzubauen, die bisher scheinbar unlösbare Herausforderungen“ waren.⁴⁰ Im Anschluss folgt ein 4 *Performancetest* zwischen der

³⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Abbildung 12: Code Pushdown.

⁴⁰ [T_17]: *Was ist SAP HANA?* bei bigdata-insider.de.

SAP HANA und Oracle 18c Express Datenbankvariante unter Berücksichtigung gleicher Datensätze und Hardwarevoraussetzungen.

3.3.1 In-Memory-Technologie

Ein beträchtlicher Performancevorteil von SAP HANA ist die eingesetzte In-Memory-Technologie. Hierbei setzt sich der technische Datentransfer aus dem Prozessor (CPU) und seinen Zwischenspeichern (Cache Level), dem Arbeitsspeicher (Random-Access-Memory oder RAM) und dem Festplattenspeicher zusammen. Aus dem Teilabschnitt 2.2.2 *Physischer Datenbeschaffungsprozess* wurde deutlich, dass der Festplattenspeicher für den heutigen Bedarf an Performance unzureichende Zugriffszeiten liefert. Durch den sinkenden Preis von Arbeitsspeicher gewann die Arbeitsspeichertechnologie an immer größer werdendem Interesse. So widmete sich 2008 das Hasso-Plattner-Institut (SAP Gründer) und die Stanford University der gemeinschaftlichen Entwicklung einer In-Memory-Computing-Technologie.⁴¹

Fester Bestandteil der In-Memory-Technologie basiert dabei auf dem Prinzip der massiven Verarbeitung von parallelen Prozessen (engl. Massive-Parallel-Processing, kurz MPP). Hierbei wird der physische Prozessor auf mehrere virtuelle Berechnungseinheiten erweitert. Dadurch wird die Aufnahmelast von der Prozessorebene erweitert. Durch dieses Konzept können die verfügbaren Prozessorressourcen intensiver ausgenutzt werden. Parallele Abfragen auf der Festplattenebene würden mit dem MPP-Verfahren zu langsam verarbeitet werden. Daher ist es nötig, benötigte Daten für Verrechnungen schon im Arbeitsspeicher vorrätig zu haben.⁴²

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Zugriffszeit von Speichermedien in Nanosekunden an:

Speichermedium	Zugriffszeit in Nanosekunden
Festplatte	5.000.000
SSD-Laufwerk	200.000
Hauptspeicher	100
CPU Level-3-Cache	16
CPU Level-2-Cache	4
CPU Level-1-Cache	1,5

Tabelle 1: Zugriffszeit von Speichermedien

⁴¹ [T_17]: Was ist SAP HANA? bei bigdata-insider.de.

⁴² [AR_19]: SAP HANA – Datenmodellierung, Kap. 2.3, S. 65.

⁴³ [AA_18]: Der SAP-Tuning-Guide, Kap. 10, S. 245–246.

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Weiterentwicklung der Festplatte (5 Millisekunden), das Solid-State-Drive-Laufwerk (200 Mikrosekunden), einen 25-fachen Performancegewinn hat. Wird die Zugriffszeit zwischen dem Hauptspeicher (100 Nanosekunden) und einem SSD-Laufwerk verglichen, lässt sich ein 2000-Facher Performancegewinn feststellen. Der Datenübergang von dem Arbeitsspeicher zu den unterschiedlichen CPU-Levels wirkt sich im Vergleich nur gering aus.

Die Benutzung einer Festplatte und eines SSD-Laufwerks tragen hohe Performanceeinbußen. Wohingegen der Einsatz von Arbeitsspeicher als persistentes Medium sich schwierig gestaltet, da Arbeitsspeichereinheiten im ausgeschalteten Modus den Speicherinhalt verwerfen. Somit wird ein Verfahren notwendig, welches Datenänderungen im Arbeitsspeicher mit der persistenten Festplatte risikolos, persistent und zeiteffizient synchronisiert. Hinter der entwickelten In-Memory-Technologie von SAP HANA sind die Konformitäten *Atomarität*, *Konsistenz*, *Isolierung* und *Dauerhaftigkeit* von transaktionellen Datenbanken zu berücksichtigen⁴⁴:

Die **Atomarität** bezeichnet das Verhalten von nicht ausführbaren Transaktionen. Sollte nur ein Teil von einer zusammengesetzten Transaktion scheitern, wird die vollständige Transaktion von dem System verworfen.

Mit **Konsistenz** ist die Überprüfung der Datenkonsistenz von einer Transaktion gemeint. Tabellen beziehen sich in der Regel auf eine Abhängigkeit von anderen Tabellen. Dieses Regelwerk ist zwischen den Tabellen und Datensätzen von der Datenbank zu wahren.

Durch die **Isolierung** reiht die Datenbank mehrere anfragende Transaktionsvorgänge nach Verarbeitungsschritten auf. Dadurch wird sichergestellt, dass eine Transaktion nicht mit einer anderen Transaktion kollidiert und gegenseitig unterbrochen wird.

Die **Dauerhaftigkeit** stellt das Prinzip der Persistenz dar. Wird eine Transaktion erfolgreich durchgeführt, verankert sich diese Transaktion dauerhaft in der Datenbank.

Die ersten drei Konformitäten stellen für In-Memory-Technologien kein Problem dar. Lediglich das Kriterium der Dauerhaftigkeit wird nicht erfüllt, da durch einen Stromausfall die Gefahr eines vollständigen Datenverlustes besteht. Ein reiner Arbeitsspeicherbetrieb ist aufgrund der flüchtigen Speicherung von Daten nicht möglich. Um Daten persistent zu speichern, muss auf eine Festplatte oder SSD der Datenbestand des Arbeitsspeichers zumindest in Zyklen zwischengespeichert werden.⁴⁵

⁴⁴ [P_17]: *In-Memory-Datenbank*, Kap. 5.3, S. 137–140.

⁴⁵ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 1.1, S. 20–25.

Folgende Graphik veranschaulicht die Arbeitsspeichertechnologie und Synchronisation mit den zu persistierenden Daten auf einer Festplatte:

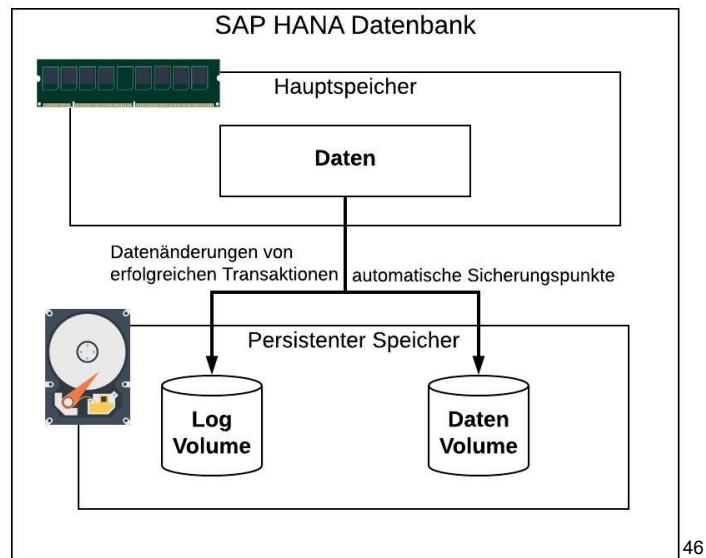


Abbildung 4: In-Memory-Technologie von SAP HANA

SAP HANA benutzt als primäres Speichermedium den Arbeitsspeicher. Dort wird der ausgewählte Datenbestand der Datenbank vollständig im Arbeitsspeicher abgelegt und produktiv verwendet. Der Datenbestand wird in einer einzigen *Volume Datei* festgehalten. SAP HANA teilt den Arbeitsspeicher in Seiten auf, welche bei einem erfolgreichen Transaktionsdurchgang innerhalb der Volume Datei markiert werden. Jede erfolgte Transaktion wird zusätzlich in Form von Log Volume Dateien in einem Protokoll festgehalten. Anders als die alleinstehende Volume Datei, häufen sich Log Volume Dateien und werden deshalb als Log-Segmente bezeichnet. Sie protokollieren erfolgte Transaktionen in mehreren Dateien und werden wegen dem Prinzip der *Dauerhaftigkeit* direkt auf dem Festplattenspeicher gesichert. Nach standardmäßig fünf Minuten oder einem frei wählbaren Zyklus synchronisiert sich der Datenbestand bzw. die Volume Datei zwischen dem Arbeitsspeicher und dem Festplattenspeicher. Sollte das System inmitten eines Zyklus abschalten, lässt sich der Datenbankzustand durch die letzte persistent gespeicherte Daten Volume und den synchron gespeicherten Log-Segmenten restaurieren. Durch die konstante Nachvollziehbarkeit von Transaktionen erfüllt die In-Memory-Technologie die Kriterien der Dauerhaftigkeit aus den AKID-Konformitäten.⁴⁷

Ein Synchronisierungsvorgang ist aufgrund der zu behaltenden Datenkonsistenz mit einer Blockierungszeit verbunden, in welchem das System keine Transaktionen zulässt. Die Sicherung der Volume Datei von dem Arbeitsspeicher auf den Festplattenspeicher

⁴⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Abbildung 13: Zuordnung zwischen den zu persistierenden Daten und Volumes

⁴⁷ [SF_17]: SAP HANA, Kap. 1.1, S. 26–27.

wird als Sicherungspunkt bezeichnet und lässt sich in drei Phasen unterteilen. Bei einem Sicherungspunkt ist zu beachten, dass jeder SAP HANA Host und Service eigenständige Sicherungspunkte hat. Die Volume Datei repräsentiert dabei eine konsistente Struktur, welche bis zum nächsten Sicherungspunkt unberührt bleibt. Ein Sicherungspunkt wird nach einem gewünschten Zyklus, einer manuellen Ausführung, nach dem Start oder vor dem Herunterfahren der Datenbank erstellt.⁴⁸

In der ersten Phase vergleicht das System die Volume Datei des letzten Sicherungspunktes mit der zu sichernden Volume Datei. Dabei werden die Markierungen innerhalb der Volume Datei, welche durch die erfolgten Transaktionen gesetzt wurden, verglichen. Diese Information wird in der Converter-Tabelle gehalten und führt dazu, dass nur markierte Seiten der Volume Datei vorgemerkt werden. Vorgemerkte Markierungen definieren eine Ungültigkeit innerhalb der Volume Datei, wodurch eine neue physische Seite auf dem Festplattenspeicher generiert wird. Die alte physische Seite wird als Schatten-Seite temporär beibehalten.

In der zweiten Phase tritt die Blockierungszeit ein. Diese Phase wird auch als kritische Phase bezeichnet, da das System für den Sicherungsvorgang keine Operationen zulässt. Alle markierten Seiten werden auf den Festplattenspeicher übertragen und mit den Schatten-Seiten ausgetauscht. Alle Transaktionen aus den Log-Segmenten werden eingelesen, wodurch auch erfolgte Transaktionen während der ersten Phase berücksichtigt werden.

In der dritten Phase sind Transaktionen wieder zulässig. Das System wartet bis alle asynchronen Operationen bis zum Sicherungspunkt abgeschlossen werden und markiert im Anschluss den Sicherungspunkt als abgeschlossen.⁴⁹

Durch die In-Memory-Technologie von SAP HANA wird ein spürbarer Performancegewinn versprochen. Datenzugriffszeiten werden durch die intensive Auslagerung auf die Arbeitsspeicherebene um ein Vielfaches verkürzt. Die Anforderungen, Geschäftsprozesse in einem operationalen und analytischen Kontext in Echtzeit zu verwalten, werden mit der In-Memory-Technologie maßgeblich gedeckt. Obwohl es möglich ist, sämtliche Daten in den Arbeitsspeicher zu laden, ist dies nicht immer sinnvoll. So kostet der Arbeitsspeicher immer noch mehr als herkömmlicher Festplattenspeicher und ist zusätzlich mit SAP HANAs Arbeitsspeicherverbrauch an Lizenzkosten gestaffelt.⁵⁰

⁴⁸ [P_17]: *In-Memory-Datenbank*, Kap. 5.3.2, S. 140–143.

⁴⁹ [L_17]: *SAP HANA Savepoint Mechanism* bei blogs.saphana.com.

⁵⁰ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 2.2.2, S. 50–53.

3.3.2 Spaltenbasierte Tabellenspeicherung

Ein weiterer ausgebender Performanceindikator von SAP HANA ist die spaltenbasierte Speicherung von Tabellen. Das folgende Kapitel geht auf die Lösung einer homogenen Datenstruktur innerhalb der SAP HANA Datenbank ein. So wurde bereits im Anforderungsprofil aus 2.2 *ERP-Infrastruktur* beschrieben, dass aufgrund historisch bedingter Hardwareeigenschaften eine Trennung zwischen transaktionalen und analytischen Systemen notwendig war. Ursprung für die Trennung sind unterschiedliche Anfragefunktionen an persistente Datenbanken. Insgesamt gibt es vier anwendbare Basisfunktionen auf physischen Tabellen. Diese werden englischsprachig als Akronym *CRUD* zusammengefasst. *CREATE* bezeichnet das Hinzufügen von Datensätzen. Mit *READ* werden angefragten Datenmengen ausgelesen. Durch *UPDATE* lassen sich spezifische Datenmengen aktualisieren. *DELETE* löscht ausgewählte Datensätze einer Tabelle. OLTP- als auch OLAP-Datenbanken verwenden CRUD-Operationen.⁵¹

OLTP-Systeme legen aufgrund der transaktionalen Ereignisse einen Fokus auf das Abspeichern von neu hinzukommenden Datensätzen und das Verändern von bestehenden Datensätzen. Hierfür eignen sich zeilenbasierte Tabellen, da Datensätze innerhalb kurzer Zeit, zusammenhängend gespeichert und aktualisiert werden können.

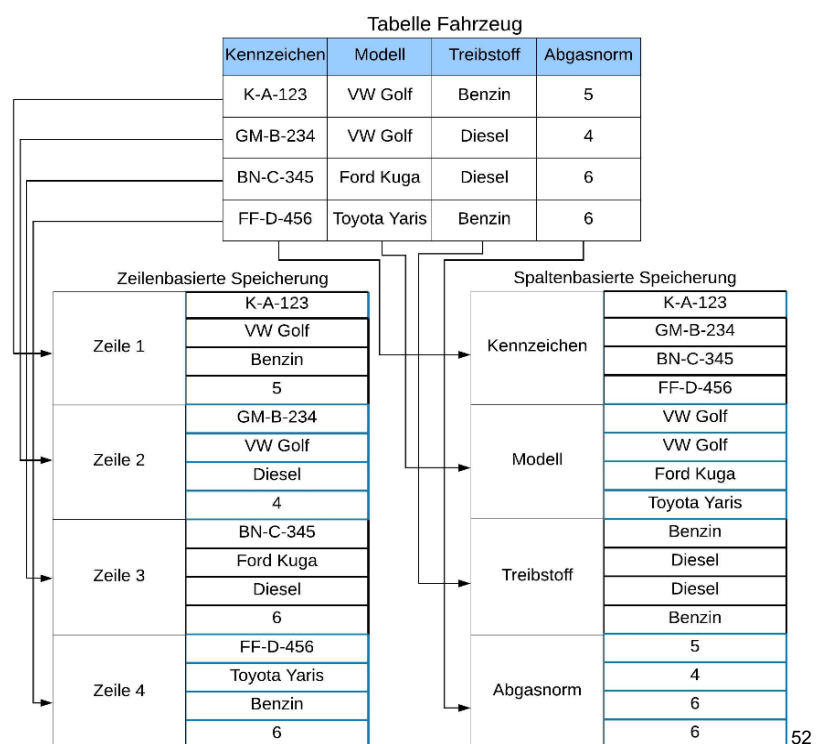


Abbildung 5: Tabelle Fahrzeug: zeilen- und spaltenbasierte Speicherung

⁵¹ [WZ_15]: *Databases Theory and Applications*, Kap. 3, S. 69.

⁵² Eigene Darstellung in Anlehnung an Abbildung 14: Zeilen- und spaltenbasiertes Speicherverfahren

Zur Veranschaulichung der Unterschiede zwischen den zeilen- und spaltenbasierten Speicherverfahren verhilft die Abbildung 5. Die Tabelle Fahrzeug kann jeweils nach Zeilen (links) und nach Spalten (rechts) physisch abgespeichert werden. So lädt der Prozessor bei zeilenbasierten Tabellen den vollständigen Datensatz einer Zeile. Wird zum Beispiel eine Anfrage nach dem Treibstoff eines bestimmten Autos gestellt, werden zu dem Ergebnis noch weitere Informationen über das Kennzeichen, das Modell und der Abgasnorm in die CPU geladen. Bei Anfragen einzelner Datensätze (`SELECT SINGLE`) ist das unproblematisch und performanter im Vergleich zu spaltenbasierten Tabellen. Werden im Vergleich komplexere Anfragen gestellt, welche sich zum Beispiel auf mehrere Fahrzeuge beziehen, wird die CPU mit teils nicht relevanten Datensätzen überladen. Dabei entsteht oftmals das *CPU-Cache-Miss* Problem. Dieses Problem wirkt sich aus, wenn der Prozessor auf Daten zugreift, welche noch nicht physisch verfügbar sind.⁵³

OLAP-Systeme legen aufgrund der analytischen Funktionen einen Fokus auf das Auslesen und Aggregieren von bestehenden Datensätzen. Hierfür eignen sich spaltenbasierte Tabellen, da dadurch nur relevanten Daten von der CPU gelesen werden. Bei der spaltenbasierten Speicherung beanspruchen Änderungen viel Zeit, da die Datensätze nicht zusammenhängend, sondern sortiert nach ihren Attributen aufgeschlüsselt sind. Dies ist als Nachteil festzuhalten. Als Vorteil ist zu nennen, dass bei spaltenbasierten Tabellen aufgrund der Spaltenanordnung eine bessere Komprimierbarkeit der Daten besteht. Zudem können Abfragen auf spaltenbasierten Tabellen auf mehrere Prozessorkerne ausgelastet werden (siehe Massive-Parallel-Processing aus 3.2.1 *In-Memory-Technologie*).⁵⁴

SAP HANA hat mit der eingesetzten **Komprimierungstechnologie** einen weiteren Performancegewinn bei der Benutzung von spaltenbasierten Tabellen. Durch die Sortierung nach Spalten wiederholen sich ähnliche oder sogar identische Datenwerte. Dadurch lassen sich die wiederholenden Muster einfacher zusammenfassen und auf einen kleineren Speicherverbrauch innerhalb des Prozessors komprimieren. Das eingesetzte Komprimierungsprinzip *Dictionary-Encoding* hat eine englische Namensherkunft und bedeutet Wörterbuch-Kodierung.⁵⁵ Folgender Abschnitt gibt einen Ausblick über die Funktionsweise der Datenkomprimierung von spaltenbasierten Tabellen.

⁵³ [AR_19]: *SAP HANA – Datenmodellierung*, Kap. 2.4, S. 66.

⁵⁴ [SF_17]: *SAP HANA*, Kap. 1.2, S. 32–39.

⁵⁵ [SAP_19_2]: *Reorganisation und Komprimierung* bei help.sap.com.

Zur Veranschaulichung des Komprimierungsvorgangs dient die Tabelle Fahrzeug:

Kennzeichen	Modell	Treibstoff	Abgasnorm
K-A-123	VW Golf	Benzin	5
GM-B-234	VW Golf	Diesel	4
BN-C-345	Ford Kuga	Diesel	6
FF-D-456	Toyota Yaris	Benzin	6

Tabelle 2: Tabelle Fahrzeug

Wenn Datensätze in spaltenbasierte Tabellen gespeichert werden, erzeugt SAP HANA zwei unterschiedliche Datenstrukturen in einem Vektorschema. Der Wörterbuch-Vektor (engl. Dictionary-Vector) vergibt eine Ganzzahl für die unterschiedlichen nicht numerische Werte einer Spalte. Dabei werden die nicht numerischen Werte zusätzlich alphabetisch sortiert, damit in Zukunft ein performanteres Auslesen möglich wird. Dictionary-Vektoren werden auch spaltenbasiert gespeichert, da Sie sich bei Änderungen an die Sortierung anpassen. Die verschiedenen Dictionary-Vektoren der Tabelle Fahrzeug sehen nach der Sortierung und Wertezuweisung wie folgt aus:

Dictionary-Vektoren Kennzeichen		Dictionary-Vektoren Modell		Dictionary-Vektoren Treibstoff	
Kennzeichen	Position	Modell	Position	Treibstoff	Position
BN-C-345	1	Ford Kuga	1	Benzin	1
FF-D-456	2	Toyota Yaris	2	Diesel	2
GM-B-234	3	VW Golf	3		
K-A-123	4				

Tabelle 3: Dictionary-Vektoren von Tabelle Fahrzeug

Im zweiten Schritt wird der Attributvektor der abzuspeichernden Datensätze angelegt. Dabei werden nicht die eigentlichen Datenwerte (in Klammern zu sehen), sondern die angelegten Indizes aus den Wörterbuch-Vektoren als Referenzen verwendet. In der folgenden Tabelle ist der Attributvektor von der Tabelle Fahrzeug zu sehen:

Kennzeichen	Modell	Treibstoff	Abgasnorm
4 (K-A-123)	3 (VW Golf)	1 (Benzin)	5
3 (GM-B-234)	3 (VW Golf)	2 (Diesel)	4
1 (BN-C-345)	1 (Ford Kuga)	2 (Diesel)	6
2 (FF-D-456)	2 (Toyota Yaris)	1 (Benzin)	6

Tabelle 4: Attributvektor von Tabelle Fahrzeug

Durch dieses Komprimierungsverfahren wird der durchlaufende Datentransfer auf das Minimum transferiert. So wird anstelle des 64-Bit Kennzeichenstrings, ein einziger Integer-Wert in den Prozessor geladen. Die Rate der CPU-Cache-Miss wird deutlich gesenkt. Ein vielfach schnelleres Auslesen der Datensätze ist dadurch möglich.⁵⁶

SAP HANA lässt beide Arten der Speicherung von Tabellen zu. SAP HANA sieht **spaltenbasierte Tabellen** für transaktionelle und analytische Vorgänge als Standard vor. Deshalb unterscheidet SAP HANA nicht mehr zwischen einer OLTP- und OLAP-Technologie (siehe 2.2 *ERP-Infrastruktur*). In der Vergangenheit benötigten spaltenbasierte Tabellenänderungen viel Zeit. So müssen die nach Attributen sortierten Datensätze in eine kontextuelle Zeilenform transformiert werden. Für jeden Änderungsvorgang ist dafür jeweils eine neue Indizierung der bestehenden Wörterbuch- und Attributvektoren nötig, da die Sortierung beizubehalten ist. Aufgrund dessen werden, bei Einsatz einer OLAP-Technologie, Schreib- und Änderungsvorgänge kleingehalten oder erst ab einer größeren Ansammlung von Änderungen durchgeführt.

Mit SAP HANA wird die Klassifizierung von zeilenbasierten Tabellen, als schreiboptimiert, und spaltenbasierte Tabellen, als leseoptimiert, weiterhin beibehalten. Mit SAP HANA werden durch zwei Tabellenzwischenpuffer vorgenommene Änderungen an spaltenbasierten Tabellen optimiert. Ansammlungen von Daten in Zeilenbasierten Tabellen haben üblicherweise einen dauerhaften Speicherort. Änderungen werden nach dem „Update-In-Place-Style“ durchgeführt. Damit ist der direkte Zugriff von dem Prozessor auf den angefragten Datensatz gemeint. SAP HANA trennt vorgenommene Datenänderungen an spaltenbasierten Tabellen in physische Speicherzustände auf. „Dies wird durch einen ausgereiften Ansatz für das Management des Lebenszyklus von Datensätzen erreicht“, führt Vishal Sikka et. al. an. Beachtenswert ist die bereits bestehende Performancegeschwindigkeit aus 3.2.1 *In-Memory-Technologie*, welche zu der Technologie spaltenbasierter Tabellen maßgeblich beiträgt.⁵⁷

In dem folgenden Abschnitt wird die Technologie der drei verantwortlichen Speichereinheiten vorgestellt. Als Referenzdokument der Funktionsweise der sogenannten einheitlichen Tabelle dient ein elfseitiges Dokument von zentralen Funktionären SAPs. Hauptautoren von „Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database – The End of a Column Store Myth“ sind unter anderem Vishal Sikka, ehemaliges Vorstandsmitglied von SAP, Franz Färber, aktueller Vizepräsident SAP und Sang Kyun Cha, Direktor des Big Data Instituts an der Souel Universität.

⁵⁶ [AA_18]: *Der SAP-Tuning-Guide*, Kap. 10.1.1, S. 248–250.

⁵⁷ [SF_12]: *Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database*, Kap. Lifecycle of Database Records, S. 735.

Die folgende Abbildung veranschaulicht das einheitliche Tabellenkonzept SAP HANAs:

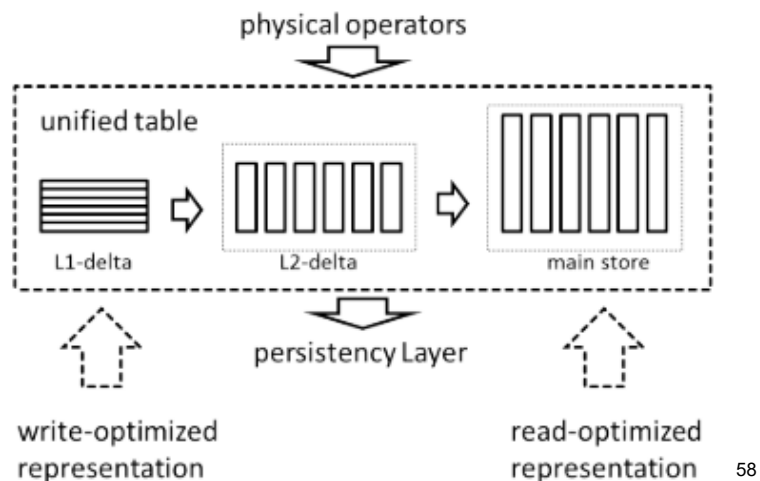


Abbildung 6: Überblick über das einheitliche Tabellenkonzept

SAP HANA stellt die drei physischen Speichereinheiten als physische Operatoren dar, welche zusammen eine einheitliche Tabelle (engl. unified-table) formieren. Innerhalb der Formation gibt es schreib-freundliche (L1-delta) und lese-freundliche Speichereinheiten (Main-Store). Als Schnittstelle beider Einheiten dient eine Übergangseinheit (L2-delta). Ziel der SAP HANA Architektur ist eine schreib- und lesefreundliche Speichereinheit.

L1-Delta ist eine zeilenbasierte Tabelle, welche alle Datenänderungen als erste physische Speichereinheit wahrnimmt. Datenänderungen sind als Records zu bezeichnen. Records können einzufügende Zeilen oder Datensatzänderung darstellen. Durch die zeilenbasierte Abspeicherung der Records ist keine Datenkomprimierung möglich. L1-Delta ist performant ausgelegt für INSERT, DELETE und UPDATE-Operationen. Diese Speichereinheit ist ausgelegt auf 10.000 bis 100.000 Zeileneinträge. Die genaue Limitierung ist abhängig von der Attributanzahl der Records.

L2-Delta bezeichnet den zweiten physischen Zustand des Speicherzyklus. L2-delta ist spaltenorientiert aufgebaut und benutzt im Vergleich zu L1-delta die prozessorschonenden Dictionary-Vektoren. Aus Performancegründen werden die Datensätze nicht sortiert, sondern nacheinander angefügt. Diese Art ist als APPEND-Operation zu bezeichnen und dient zur Unterstützung schnell auszuführender Integritätsprüfungen. Damit ist die Prüfung der Datensätze auf Tabellenabhängigkeiten und integrierte Bedingungen gemeint. Durch die musterlose L2-delta Abspeicherung ist ein sekundärer Index nötig, da der primäre Index sich durch die Spaltenanordnung

⁵⁸ [SF_12]: *Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database*, Kap. Lifecycle of Database Records, S. 735.

auflöst. L2-Delta ist auf die Speicherung von bis zu zehn Millionen Zeileneinträgen ausgelegt.

Main-Store lässt sich in die deutsche Sprache als Hauptspeicher übersetzen. In diesem Kontext hat der Hauptspeicher keinen Zusammenhang mit der Thematik aus 3.2.1 *In-Memory-Technologie* und dient nur als Bezeichnung für den physischen Haupt- und Endzustand des einheitlichen Tabellenkonzepts. Wie bei L2-Delta, werden Datensätze spaltenorientiert, mit Referenzen zu Dictionary-Vektoren, angelegt. Der immense Unterschied zu L2-delta ist die Sortierung der primären Indizes sämtlicher Datensätze.⁵⁹

SAP HANA wurde ursprünglich für reine OLAP-Systeme entworfen, wodurch im frühen Entwicklungszustand das Importieren von Massendaten (engl. *bulk-insertions*) unterstützt wurde. Im Vergleich zu einzelnen Zeilen, werden *bulk-insertions* unter bestimmte Voraussetzung nicht erst in L1-delta, sondern auf direktem Wege nach L2-delta geladen. Alle Objekte, die in das System geladen werden, werden dennoch wie Records behandelt. Daher kriegt jede Zeile einen automatisch generierten Identifikationsschlüssel (engl. Kürzel *RowId*). Sollten Leseanfragen auf die einheitliche Tabelle gestellt werden und L1- beziehungsweise L2-delta noch nicht im Main-Store übertragen sein, berechnet ein Protokoll den optimalsten Lesedurchlauf der drei unterschiedlichen Speichereinheiten. Der Suchlauf wird dann durch zwei generierte Wörterbücher gesteuert. So wird für L1-delta, als auch für L1-delta und L2-delta zusammen, ein Wörterbuch angelegt. Diese Wörterbücher werden „im Flug“ mit dem Wörterbuch des Main-Store verglichen. Herauskommen invertierte Indizes für Delta und die Main-Store Speichereinheiten. Damit ist das einschränkungsfreie Lesen der Daten sichergestellt, obwohl der asynchrone Speicherzyklus der Records über mehrere physische Speichereinheiten verläuft.

Das Ziel von SAP HANAs Speicherarchitektur ist es, alle Datensätze von L1- und L2-delta, sortiert auf den Main-Store zu übertragen. Der genaue Zeitpunkt für die Berechnung der Übergangsphasen wird automatisch von dem System berechnet. Der perfekte Zeitpunkt erschließt sich durch die Erreichung der genannten Kapazitäten der L1- und L2-delta Speichereinheiten und den bereitstehenden Ressourcen des Systems. Die Übergangsphasen werden bei SAP HANA als sogenannte Verschmelzungsschritte (engl. *merge-steps*) bezeichnet.⁶⁰ Die Verschmelzungsschritte im Detail zu untersuchen, würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten. Deshalb wird in dem folgenden Abschnitt nur die abstrakte Funktionsweise der Übergänge beschrieben.

⁵⁹ [SF_12]: *Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database*, Kap. Lifecycle Management of Database Records, S. 735-736.

⁶⁰ [AA_18]: *Der SAP-Tuning-Guide*, Kap. 10.1.3, 251–256.

L1-to-L2-delta Merge bezeichnet die Transformation von L1-delta zu L2-delta. Bei diesem Prozess wird die zeilenbasierte L1-delta Tabelle in eine Spaltenform generiert. Alle Zeilen der L1-delta Tabelle werden einzeln und unsortiert in die L2-delta Struktur übertragen. Zum Einsatz kommt dabei die Dictionary-Tabelle. Es wird zu aller erst überprüft, ob übereinstimmte Werte in der Dictionary-Tabelle fehlen. Im Falle eines Fehlens, wird der fehlende Wert, unsortiert an das Ende der Dictionary-Tabelle angehängen. Im zweiten Schritt werden die übereinstimmenden Werte mithilfe der Referenzen an das Ende der L2-delta Struktur eingefügt. Beide Schritte können parallel ausgeführt werden, da dem System die Anzahl der einzufügenden Zeilen bekannt ist. In einem dritten Schritt werden die Zeilen aus L1-delta, Zeile für Zeile, inkrementell gelöscht. Die erste Übergangsphase raubt wenige Prozessorressourcen und stört in diesem Sinne nicht den Betrieb der gesamten Tabelle.

L2-delta-to-main Merge bezeichnet die Transformation von L2-delta zum Main-Store. Dieser Übergang ist im Vergleich zu dem L1-to-L2-delta Merge mit einem rechenintensiven Prozess verbunden. Diese Übergangsphase ist von dem System zu planen, da die gesamte Sortierungsstruktur des Main-Store neu organisiert werden muss. Während der Verarbeitung von L2-delta, werden alle Änderungsmöglichkeiten gesperrt. Für laufende L1-to-L2-Delta Merge werden zusätzliche L2-delta Partition erstellt. Das bedeutet, dass sich L2-delta Speicherstrukturen stapeln können. In dem nächsten Schritt greifen unterschiedliche Algorithmen zur Sortierung und Vereinheitlichung der Datensätze im Main-Store.⁶¹ Die Weiterführung der Sortialgorithmen würde den Rahmen der Arbeit überschreiten.

Anhand der eingesetzten Technologie ist eine einheitliche Tabelle (engl. Unified Table) zu verstehen. Diese Tabelle kommt zum Einsatz, wenn Tabellenanleger die Option der spaltenbasierten Tabelle verwenden. Diese Option ist als Standard ausgewählt. Es stellt sich die Frage, wieso SAP HANA, trotz der Vorteile der einheitlichen Tabelle, eine zeilenbasierte Tabellenabspeicherung zur Verfügung stellt. Die Vorteile der einheitlichen Tabelle von SAP HANA entstehen maßgeblich durch die durchgehende Einhaltung der Sortierung innerhalb der Spalten. Daraus lassen sich Gründe für die Benutzung zeilenbasierter Tabellen ableiten. So bietet sich die zeilenbasierte Speicherung für Tabellen an, welche nach der Anlegung nicht mehr verändert werden. Zeilenbasierte Tabellen dieser Art müssen nur einmalig sortiert werden. Suchanfragen sind dadurch performant genug, wenn nicht zu viele Datensätze abzuspeichern sind. Daher sollten zeilenbasierte Tabellen nicht für analytische Zwecke benutzt werden. Diese Fälle

⁶¹ [SF_12]: *Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database*, Kap. Unified Table Access, S. 736.

kommen in der Regel sehr selten vor. So werden mit SAP HANA „derzeit etwas mehr als 1% der Tabellen im Row Store abgelegt“, führt Antolovic Miroslav an.⁶²

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass SAP HANA mit den verschiedenen Speichereinheiten, Delta und Main-Store, eine homogene Datenstruktur für transaktionale und analytische Geschäftsprozesse geschaffen hat. L1-Delta ist optimiert für `CREATE`- `UPDATE`- und `DELETE`- Befehle. L2-Delta stellt, vereinfacht gesagt, einen Verarbeitungsebene zwischen zeilen- und spaltenorientierten Tabellen dar. Der Main-Store ist für `READ`-Befehle ausgelegt und das Ziel von persistierenden Records. Durch die automatisierten Transformationen der schreiboptimierten zur leseoptimierten Tabellenform können sich Anwender auf die besten Eigenschaften der zeilen- und spaltenbasierten Tabellen verlassen.⁶³

⁶² [AA_18]: *Der SAP-Tuning-Guide*, Kap. 10.1.2, S. 250–251.

⁶³ [D_12]: *Row and Column* bei blogs.saphana.com.

4 Performancetest

In diesem Kapitel werden der Ablauf und die Ergebnisse des Performancetests zwischen SAP HANA XE und Oracle Database 18c XE vorgestellt. Ziel des Performancetests soll eine Auskunft über die benötigte Zeit von schreibenden, lesenden, ändernden und löschenden Transaktionen auf identischen Tabellenstrukturen unterschiedlicher Datenbanksysteme geben. Die Vermutung liegt nahe, dass SAP HANA eine kürzere Verarbeitungszeit im Vergleich zu der Oracle Datenbank 18c XE benötigt. Im Erfolgsfall lässt sich dies auf die Technologienerneuerungen aus 3.3.1 *In-Memory-Technologie* und 3.3.2 *Spaltenbasierte Tabellenspeicherung* zurückführen. In dem ersten Teilkapitel wird durch die Abschnitte Relevanz, Vergleichsprodukt und Einschränkungen auf die 4.1 *Ausgangslage* des Performancetests eingegangen. Im Folgekapitel wird der 4.2 *Versuchsaufbau* der einzusetzenden Testsysteme beschrieben. Im Anschluss werden die 4.3 *Ergebnisse* des Performancetests vorgestellt.

4.1 Ausgangslage

Relevanz: Bei diesem Experiment ist klar abzugrenzen, dass nicht die Performance von S/4HANA bewertet wird. Es wird lediglich die Geschwindigkeit von SAP HANA, der Datenbankenschicht (siehe *Abbildung 3: Prinzip des Code Pushdown*) von S/4HANA getestet. SAP beschreibt allerdings SAP HANA als „digitale Datengrundlage“ und „Voraussetzung für Geschäftsprozesse“ innerhalb der ERP-Produktfamilie S/4HANA.⁶⁴ Somit ist SAP HANA als Kernsystem von S/4HANA Anwendungen zu verstehen. Dadurch wird ein Vergleich zu anderen Datenbanken hinsichtlich der Geschwindigkeit interessant. Ein wichtiger Faktor bei der Auswahl des Vergleichsprodukts zu SAP HANA sollte dabei eine aktuelle Produktversion sein. Das Vergleichsprodukt sollte mit ähnlichen Produkteigenschaften und Technologietrends wie SAP HANA werben. Derzeit kursieren unzählige Datenbankanbieter. Interessant wäre ein Vergleichsprodukt, welches auch für ERP-Systeme einsetzbar ist.

Vergleichsprodukt: Aufgrund meiner persönlichen Erfahrung mit Oracle Produkten und der begrenzten Zeit dieser Arbeit, wird das Produkt Oracle Database Express Edition (XE) Release 18.4.0.0.0 (kurz Oracle 18c XE) verwendet. Oracle Database 18c wurde zum Februar 2018 veröffentlicht und ist die neueste Generation der Oracle Datenbankprodukte. Nach Oracle verfügt diese Version über die „welt-schnellste, skalierbarste und zuverlässigste Datenbanktechnologie für sichere und kosteneffektive Entwicklungen von transaktionalen und analytischen Umgebungen in der Cloud oder On-Premise Konfigurationen“. Zudem wirbt Oracle mit einer massiven Performance für

⁶⁴ [SAP_17]: *Produkte Forschung und Entwicklung und Services* bei sap.com, Kap. 2.

Echtzeitanalysen durch eine In-Memory- und spaltenbasierte Technologie.⁶⁵ Die Wahl des Produktes ist auch auf die Bekanntheit des Systemherstellers Oracle zurückzuführen. Oracle hatte als globaler Systemhersteller im Jahr 2014 mit 29881 Millionen US-Dollar einen höheren Gewinn als SAP (18777 Millionen US-Dollar) erzielt.⁶⁶ Oracle bietet zudem eigene ERP-Software an ⁶⁷, wodurch aufbauende Experimente folgen könnten.

Einschränkungen: Sowohl SAP HANA, als auch Oracle 18c, benötigen kostspielige Lizenzen. Beide Anbieter bieten eine kostenlose „Express“ Edition für Interessierte Personengruppen an. „Express“ Edition Produkte sind leicht abstrahierte Versionen der Hauptprodukte. Ihre Funktionen sind nicht limitiert, sondern mit Einschränkungen zum Hardwareverbrauch verbunden. Das Produkt SAP HANA XE ist auf die kostenlose Nutzung von bis zu 32 Gigabyte In-Memory Speicherung ausgelegt.⁶⁸ Das Produkt Oracle 18c XE ist auf die kostenlose Nutzung von bis zu zwei Gigabyte In-Memory Speicherung und die Benutzung von zwei Prozessorkernen ausgelegt.⁶⁹ Diese unterschiedlichen Hardware-Einschränkungen nehmen Einfluss auf den Performancetest. Um identische technische Voraussetzung zu schaffen, werden den Systemen jeweils zwei virtuelle Prozessorkerne zugewiesen. Die Einschränkung des Arbeitsspeichers wird nicht virtuell eingeschränkt. Stattdessen wird während des Performancetests darauf geachtet, nicht mit über zwei Gigabyte großen Datensätzen zu testen.

⁶⁵ [O_18_2]: *Introducing Oracle Database 18c*, Kap. 1.

⁶⁶ [PwC_14]: *Global 100 Software Leaders by revenue* bei pwc.com.

⁶⁷ [O_18_1]: *Oracle Enterprise Resource Planning*.

⁶⁸ [SAP_19_3]: *SAP HANA* bei developres.sap.com.

⁶⁹ [H_18]: *Oracle Database 18c XE now available!* bei blogs.oracle.com.

4.2 Versuchsaufbau

Der folgende Abschnitt gibt einen Ausblick über den Aufbau und die Virtualisierung der Testsysteme von SAP HANA XE und Oracle 18c XE. Dieser Abschnitt dient vor allem zur Reproduzierbarkeit des Performancetests. Folgende Abbildung stellt die Infrastruktur der benötigten Testkomponenten, den eingesetzten Hardwarekonfigurationen, der Betriebssysteme und Anwendungen und dar:

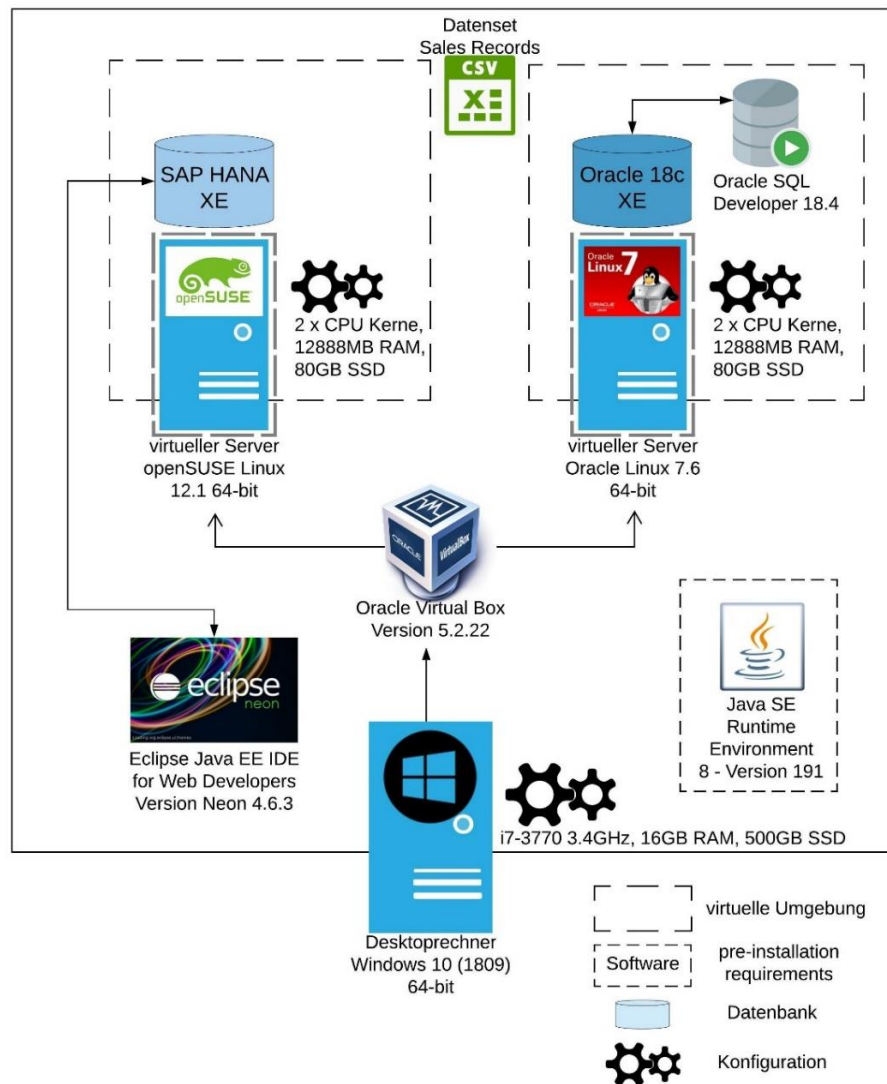


Abbildung 7: Technischer Aufbau des Performancetests

Bei dem Performancetest kommt ein Desktoprechner mit 16 Gigabyte Arbeitsspeicher, einer 500 Gigabyte SSD Festplatte und einem Intel i7-3770 Prozessor mit acht Kernen mit jeweils 3,4 Gigahertz Takt zum Einsatz. Als Betriebssystem ist Windows 10 mit Version 1809 installiert. Für SAP HANA XE, als auch für Oracle 18c XE, ist die Virtualisierung-Technologie des Prozessors nötig und zu überprüfen.⁷⁰

⁷⁰ [I_19]: Unterstützt mein Prozessor die Intel Virtualisierungstechnik? bei intel.de.

Als Grundlage für die Installation von Oracle-spezifischen Anwendungen ist eine aktuelle Java Laufzeitumgebung zu installieren, da viele Anwendungen, unter anderem die Virtualisierungssoftware, auf Java basieren.⁷¹ Als eingesetzte Virtualisierungssoftware kommt das Produkt Oracle Virtual Box mit der älteren Version 5.2.22 zum Einsatz.⁷² Eine neuere Version von Oracle Virtual Box ist zurzeit von SAP HANA nicht freigegeben.⁷³ VirtualBox kann virtuelle Systeme mit angepassten Hardwareressourcen installieren.

Als erstes wurde das SAP HANA System installiert. SAP bietet auf der Entwicklerseite eine Anleitung und ein virtuelles Abbild des SAP HANA XE Systems an.⁷⁴ Dieses Abbild ist in der Anwendung VirtualBox zu importieren. Das Abbild installiert das Betriebssystem OpenSuse für SAP HANA. Im Anschluss ist die Konfiguration des SAP HANA Systems nötig. Dies beinhaltet die Sprach-, Zeit- und Tastatureinstellungen als auch die Installation zusätzlicher Module, auf welche in diesem Performancetest verzichtet wurde. Nach der Konfiguration benachrichtigt das System zur erfolgreichen Installation von SAP HANA. Im Anschluss ist eine Umleitung der SAP HANA XE IP-Adressen-Instanz auf dem Hauptbetriebssystem (Windows 10) einzurichten. Hintergrund ist, dass das direkte Arbeiten auf dem OpenSuse System nicht möglich ist. Das OpenSuse-Betriebssystem hat keine graphische Oberfläche und dient nur als Serverbetriebssystem.⁷⁵ Mit der Umleiteinstellung ist das Ansprechen der SAP HANA XE Instanz durch das Hauptbetriebssystem möglich. Anschließend kann das System auf die Kommunikationsservices getestet werden. Dies erfolgt durch Kommandozeilenanfragen auf OpenSuse- und http-Abfragen auf dem Windows-Betriebssystem.⁷⁶ Nach der erfolgreichen Testung ist das Ansprechen der Datenbank auf einer Weboberfläche möglich. Aus persönlichen Gründen der besseren Handhabung und Erfahrung kommt das Datenbankmanagementsystem Eclipse zum Einsatz. SAP HANA bietet eine Anleitung⁷⁷ zur Datenbankanbindung mit dem Programm Eclipse Neon 4.6.3 an.⁷⁸

Als Vergleichssystem wurde das Datenbanksystem Oracle 18c XE installiert. Oracle 18c XE steht zurzeit nicht für Windows-Betriebssysteme zur Verfügung. Es lässt sich auf

⁷¹ [O_19_1]: *Java SE Runtime Environment 8* bei oracle.com.

⁷² [VB_19]: *Download VirtualBox (Old Builds)* bei virtualbox.org.

⁷³ [SAP_19_4]: *Install SAP HANA 2.0* bei developres.sap.com, Kap. Pre-installation tasks.

⁷⁴ [SAP_19_4]: *Install SAP HANA 2.0* bei developres.sap.com, Kap. Using the Download Manager (GUI Mode).

⁷⁵ [SAP_19_4]: *Install SAP HANA 2.0* bei developres.sap.com, Kap. Edit the hostfile.

⁷⁶ [SAP_19_4]: *Install SAP HANA 2.0* bei developres.sap.com, Kap. Test SAP HANA express edition.

⁷⁷ [W_19]: *How to download and install the HANA Eclipse plugin* bei developers.sap.com.

⁷⁸ [E_19]: *Eclipse Neon 3 Packages* bei eclipse.org.

dem kostenfreien Oracle Linux Betriebssystem installiert. Hierfür wurde in Virtual Box ein System mit gleichen SAP HANA XE Konfigurationen für das Betriebssystem Oracle Linux 7.6 installiert. Oracle bietet für das Betriebssystem eine Anleitung zur Installation und Konfiguration an.⁷⁹ Nach der erfolgreichen Installation des Betriebssystems wurde die Datenbank Oracle 18c XE installiert.⁸⁰ Oracle Linux lässt sich fast ausschließlich durch Kommandozeilenbefehle konfigurieren. Für den Installationsvorgang des Datenbankensystems verhilft ebenfalls ein Installation-Guide.⁸¹ Für das Ansprechen des Datenbankenmanagementsystems verhalf die Anwendung Oracle SQL Developer 18.4,⁸² welche auf dem Oracle Linux Betriebssystem installiert wurde.

Beide Datenbankensysteme sind nach der Installation und Konfiguration einsatzfähig und durch Datenbankenmanagementsysteme ansprechbar. Anhand der Konfiguration innerhalb der Virtualisierungssoftware, wurden beiden Systemen eine identische Anzahl an Prozessorkernen (zwei) und Arbeitsspeicher (12888 Megabyte) zugewiesen (siehe *Abbildung 13: VirtualBox – Oracle Linux Hardwarespezifikationen* und *Abbildung 14: VirtualBox – OpenSuse Linux Hardwarespezifikationen*). Beide Systeme werden für sämtliche Testvorgänge separat angeschaltet. Dadurch wird, bis auf die unterschiedliche Zugriffsmethode, eine identische Ausgangslage für beide Datenbanken geschaffen.

Als Testdaten dient eine Sammlung von CSV-Dateien über Verkaufszahlen (engl. Sales Records) zur Erfassung der Performance der Datenbankensysteme. CSV-Dateien sind Dateitypen, welche in dem Programm Excel angelegt und bearbeitet werden können. Diese Dateitypen stellen Datensätze dar, welche durch aneinanderreihende Einträge und Kommas veranschaulicht werden. Diese Datensätze können in Excel, aber auch in Datenbanken importiert werden.⁸³ Die kostenfreien Datensätze sind von www.eforexcel.com bereitgestellt. Innerhalb der Datensätze Sales Records befinden sich mehrere Zeilen mit 14 Attributen. Die Verkaufszahlen sind „nicht echt und dienen nur für Testzwecke“. Die CSV-Dateien umfassen mehrere Ausführungen mit jeweils 100, 1000, 5000, 10000, 50000, 100000, 100000, 1000000 und 1500000 Zeilen.⁸⁴ Sie stellen die Datenbasis des Performancetests auf den zwei Testsystemen dar. Die folgende

⁷⁹ [O_19_2]: *Oracle Linux 7.6* bei oracle.com.

⁸⁰ [O_19_3]: *Oracle 18c XE* bei oracle.com.

⁸¹ [O_19_4]: *Oracle 18c XE Installation Guide* bei oracle.com.

⁸² [O_19_5]: *Oracle SQL Developer 18.4* bei oracle.com.

⁸³ [M_19_2]: *Office: Erstellen oder Bearbeiten von CSV* bei support.office.com.

⁸⁴ [EX_19]: *Downloads 18 - Sample CSV Files / Data Sets for Testing* bei eforexcel.com.

Abbildung zeigt einen Ausschnitt von der Sales Records 100 CSV-Dateien mit den 14 Attributen:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Region, Country, Item Type, Sales Channel, Order Priority, Order Date, Order ID, Ship Date, Units Sold, Unit Price, Unit Cost, Total Revenue, Total Cost, Total Profit												
2	Australia and Oceania, Tuvalu, Baby Food, Offline, H, 5/28/2010, 669165933, 6/27/2010, 9925, 255.28, 159.42, 2533654.00, 1582243.50, 951410.50												
3	Central America and the Caribbean, Grenada, Cereal, Online, C, 8/22/2012, 963881480, 9/15/2012, 2804, 205.70, 117.11, 576782.80, 328376.44, 248406.36												
4	Europe, Russia, Office Supplies, Offline, L, 5/2/2014, 341417157, 5/8/2014, 1779, 651.21, 524.96, 1158502.59, 933903.84, 224598.75												
5	Sub-Saharan Africa, Sao Tome and Principe, Fruits, Online, C, 6/20/2014, 514321792, 7/5/2014, 8102, 9.33, 6.92, 75591.66, 56065.84, 19525.82												
6	Sub-Saharan Africa, Rwanda, Office Supplies, Offline, L, 2/1/2013, 115456712, 2/6/2013, 5062, 651.21, 524.96, 3296425.02, 2657347.52, 639077.50												
7	Australia and Oceania, Solomon Islands, Baby Food, Online, C, 2/4/2015, 547995746, 2/21/2015, 2974, 255.28, 159.42, 759202.72, 474115.08, 285087.64												
8	Sub-Saharan Africa, Angola, Household, Offline, M, 4/23/2011, 135425221, 4/27/2011, 4187, 668.27, 502.54, 2798046.49, 2104134.98, 693911.51												
9	Sub-Saharan Africa, Burkina Faso, Vegetables, Online, H, 7/17/2012, 871543967, 7/27/2012, 8082, 154.06, 90.93, 1245112.92, 734896.26, 510216.66												

Abbildung 8: Ausschnitt von 100 Sales Records.csv

4.3 Ergebnisse

Der folgende Abschnitt behandelt die Ergebnisse des Performancetests. Dabei werden verschiedene CRUD-Operationen (siehe 3.3.2 *Spaltenbasierte Tabellenspeicherung*) in folgender Reihenfolge CREATE, READ, UPDATE und DELETE auf den Datenbanksystemen hinsichtlich der Geschwindigkeit getestet. Die Geschwindigkeit ergibt sich aus der Antwortzeit der Datenbanksysteme zu dem Datenbankmanagementsystem. Beide Datenbanken werden durch die spezifische SQL-Datenbanksprache angesprochen. Die konkreten Datenbankenabfragen und Zeitmessungen sind in Form von Bilderausschnitten im Anhang zu finden.

CREATE: Durch das Importieren der Sales Records CSV-Datensätze wird der Datenbankenserver aufgefordert, eine Tabelle mit den 14 Attributen zu erstellen. Anschließend werden die Datensätze, Zeile für Zeile, in die Tabelle geladen. Beide Datenbanksysteme speichern die Tabellen spaltenbasiert ab. Bei dem Datenimport ist die Einstellung Kopfzeile (engl. header row) einzustellen. Ansonsten werden die Attribute aus der ersten Zeile in der Sales Records CSV-Datei als Verkaufszeile behandelt. Im Vergleich zu SAP HANA XE sind in Oracle 18c XE keine Leerzeichen bei Attributnamen erlaubt. Dies ist im Importvorgang zu bearbeiten. In der folgenden Tabelle ist die verbrauchte Zeit in Sekunden für den Importvorgang sämtlicher Sales Records CSV-Dateien auf den Datenbanksystemen veranschaulicht:

Importbefehl	Anzahl Zeilen	SAP HANA XE (in Sekunden)	Oracle 18c XE (in Sekunden)
100 Sales Records.csv	100	0,129	0
1000 Sales Records.csv	1000	0,271	0
5000 Sales Records.csv	5000	0,767	1
10000 Sales Records.csv	10000	1,109	2
50000 Sales Records.csv	50000	3,112	8
100000 Sales Records.csv	100000	5,742	15
500000 Sales Records.csv	500000	30,661	74
1000000 Sales Records.csv	1000000	71,388	153
1500000 Sales Records.csv	1500000	116,273	241

Das Erstellen der entsprechenden Tabellen Sales Records und das Laden der

Tabelle 5: Performancetest CREATE der Records Sales CSV-Tabellen

Datensätze ist auf dem SAP HANA XE Datenbanksystem ab einer Anzahl von 50000 Zeilen mehr als doppelt so schnell als mit dem Oracle 18c XE Datenbanksystem. Der deutlichste Zeitunterschied ist bei der Sales Records Version mit 1,5 Millionen Zeilen festzustellen (124,727 Sekunden). Das Testen von Datenschemas mit einer großen Anzahl von Zeilen erzeugt interessantere Vergleichswerte, da in der Realität oft mit komplexeren Datenschemas gearbeitet wird. Daher dient die Tabelle 1500000 Sales Records als Testtabelle für die weiteren `READ`, `UPDATE` und `DELETE`-Operationen.

READ: Für das Lesen der Records Sales 1500000 Tabelle werden die Zeiten für eine Einzelabfrage, Abfragen von 50, 100 und 200 Zeilen mit spezifischen Bedingungen (`WHERE`-Klausel) gemessen. Die Grenze wurde bei 200 Zeilen gesetzt, da der Oracle SQL Developer nicht mehr als 200 Zeilen lesen kann, ohne ein zusätzliches Skript einzusetzen, welches die Performancewerte verfälschen würde (siehe *Abbildung 17: Oracle SQL Developer Maximale Arrayabrufgröße 200*). Im Anschluss werden die Zeiten von Abfragen mit Aggregationsfunktionen (`SUM`, `COUNT`, `AVG`) gemessen. Bei beiden Datenbanksystemen werden die Tabellen im Vorhinein in den Hauptspeicher geladen (siehe *Abbildung 19: SAP HANA XE Tabelle in Arbeitsspeicher laden* und *Abbildung 20: Oracle 18c Tabelle in Arbeitsspeicher laden*). Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gemessenen Geschwindigkeiten der Leseanfragen:

Lesebefehl	SAP HANA XE (in Sekunden)	Oracle 18c XE (in Sekunden)
SELECT Single mit Bedingung	0,002	0,149
SELECT 50 Zeilen mit Bedingungen	0,007	0,017
SELECT 100 Zeilen mit Bedingungen	0,005	0,042
SELECT 200 Zeilen mit Bedingungen	0,005	0,091
SELECT mit SUM, COUNT, AVG	0,062	0,821

Tabelle 6: Performancetest READ mit Tabelle Sales Records 1500000

Anhand der Tabelle ist zu sehen, dass SAP HANA XE und Oracle 18c XE für Anfragen mit Aggregationsfunktionen länger als bei den Zeilenabfragen benötigten. Weiterhin ist zu erkennen, dass SAP HANA XE in einer kürzeren Zeit, Leseanfragen verarbeitet als Oracle 18c XE. Beide Datenbankensysteme konnten sämtliche Leseanfragen in unter einer Sekunde verarbeiten.

UPDATE: Bei einer Update-Operation werden bestehende Datensätze überschrieben. Um einen sinnvollen Vergleich zu generieren, wird in vier getrennten Änderungsvorgängen die Geschwindigkeit gemessen. In dem ersten Vorgang wird ein einzelner Datensatz verändert. Im zweiten Vorgang wird von mehreren Datensätzen ein Attribut, im dritten Vorgang, zwei Attribute und im vierten Vorgang, drei Attribute, verändert. Vor den Änderungsoperationen werden die Tabellen in den Arbeitsspeicher geladen. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Performance der Datenbankensysteme bei den Änderungsvorgängen:

Änderungsbefehl	SAP HANA XE (in Sekunden)	Oracle 18c XE (in Sekunden)
UPDATE einzelne Zeile mit Bedingung	0,004	0,2
UPDATE ein Attribut von 8071 Zeilen	0,113	1,113
UPDATE zwei Attribute von 8071 Zeilen	0,057	0,51
UPDATE drei Attribute von 8071 Zeilen	0,109	0,55

Tabelle 7: Performancetest UPDATE mit Tabelle Sales Records 1500000

Anhand der Tabelle ist zu sehen, dass SAP HANA XE Änderungsbefehle performanter verarbeitet als Oracle 18c XE. Auffällig ist, dass beide Datenbanksysteme am längsten für den zweiten Änderungsvorgang gebraucht haben. Dies ist zurückzuführen auf den SQL Befehl, da der zu ändernde Attributwert beiden System unbekannt war. Aufgrund der Unbekanntheit musste der Wert in die Dictionary-Vektoren einsortiert werden (siehe 3.3.2 Spaltenbasierte Tabellen).

DELETE: Bei einer Delete-Operation werden Datensätze aus der Tabelle gelöscht. Bei diesem Versuch ist es interessant zu sehen, wie die Datenbankensysteme eine größer werdende Anzahl an Zeilen aus der Tabelle entfernen. So wird im ersten Vorgang eine einzelne Zeile, im zweiten Vorgang 125000 Zeilen, im dritten Vorgang 375000 Zeilen und im vierten Vorgang 1000000 Zeilen der Sales Records 1500000 CSV-Datei gelöscht. Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die benötigte Zeit des Löschvorgangs:

Löschbefehl	SAP HANA XE (in Sekunden)	Oracle 18c XE (in Sekunden)
DELETE einzelne Zeile mit Bedingung	0,018	0,17
DELETE 125072 Zeilen	0,405	1,498
DELETE 374781 Zeilen	1,229	2,145
DELETE 1000146 Zeilen	3,819	5,208

Tabelle 8: Performancetest DELETE mit Tabelle Sales Records 1500000

Anhand der Messungen ist zu sehen, dass Oracle 18c XE für die Verarbeitung von Löschbefehlen mehr Zeit benötigt als SAP HANA XE.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass CRUD-Operationen auf den Sales Records Tabellen mit dem Datenbanksystem SAP HANA XE deutlich schneller verarbeitet werden als mit Oracle 18c XE. Die gesamten Geschwindigkeitsmessungen befinden sich überwiegend in einem Bereich unter einer Sekunde. Dies ist sehr wahrscheinlich auf die geringe Zeilenmenge zurückzuführen. Für zukünftige Performancemessungen könnten zusammenhängende Tabellenschemas mit Abhängigkeiten in die Datenbanksysteme geladen werden. Eventuell könnten dadurch deutlichere Geschwindigkeitsunterschiede herausgestellt werden. Gleichzeitig könnte beim Versuchsaufbau versucht werden, eine Umgebung aufzustellen, welche das Oracle 18c XE Datenbanksystem von dem Hauptbetriebssystem anspricht. Das würde das Oracle Linux Betriebssystem schonen und ausgeglichene Bedingungen zum SAP HANA XE Datenbanksystem schaffen. Da das virtuelle Abbild von SAP HANA XE ein optimiertes Betriebssystem installiert, ist unklar, welche Performanceauswirkungen das manuelle Installieren des Betriebssystems Oracle Linux für Oracle 18c XE mit sich trägt. In Zukunft könnte eine reine Serverbetriebssystemversion von Oracle Linux mit einer Anbindung zum Hauptbetriebssystem zu einer besseren Performance für das Datenbanksystem Oracle 18c XE verhelfen. Es könnte versucht werden, dass das Datenbanksystem Oracle 18c XE mit Eclipse anzubinden. Dies würde ein einheitliches Datenbankmanagementsystem für die Datenbanksysteme bieten. Weiterhin ist zu sagen, dass die Express Editionen der Datenbanken Einschränkungen bieten. Mit dem Kauf der Lizenzen könnten die Hersteller eine bessere Unterstützung zur performanteren Konfiguration der Systeme bieten. Trotz der möglichen Fehlerparameter in dem Performancetest wurde auf ausgeglichene Vorbedingungen geachtet. So können die Ergebnisse für eine Beurteilung der Datenbanksysteme in Betracht gezogen werden und in Zukunft als Grundlage für weitere Hypothesen dienen.

5 Fazit

In dieser Arbeit wurde untersucht, welche Technologietrends hinsichtlich Enterprise-Resource-Planning Systemen einen Mehrwert für Geschäftsprozesse schaffen. Es hat sich herausgestellt, dass sämtliche Geschäftsprozesse eines Unternehmens einen Bedarf an unterstützten Computersystemen besitzen. Dabei integrieren vornehmlich Großkonzerne und neuerdings auch mittelständische Unternehmen ERP-Systeme in technisch abbildbare Geschäftsprozesse. ERP-Systeme sind kostspielig und benötigen eine durchdachte Infrastruktur. Der betreibende Aufwand für finanziell schwächere Unternehmen liegt dabei über dem Nutzfaktor eines ERP-Systems. So entwickelten sich während des digitalen Zeitalters vier klare Anforderungen an ERP-Systeme. ERP-Systeme benötigen demnach eine benutzerfreundlichere Ansicht um das Schulen der Mitarbeit zu vereinfachen. ERP-Systeme sollen auf Rechenzentren ausgelagert werden können und die Funktionalitäten über das Internet bereitstellen. Weiterhin ist gefordert, dass Datenbanken von ERP-Systemen Schnittstellen für externe Daten bieten. Datenbanksysteme sind als Kern eines ERP-Systems zu verstehen, da die Datenbasis von Unternehmen strukturiert und verbunden werden kann. Hierfür entwickelte sich die Anforderung für Datenbanksysteme, sämtliche Daten in Echtzeit analysieren zu können (siehe Kapitel 2 *Enterprise-Resource-Planning Systeme*).

Anhand des Beispielsystems S/4HANA wurden die Technologietrends des aktuellsten ERP-Systems von dem Unternehmen SAP vorgestellt. In dieser Arbeit hat sich herausgestellt, dass mit der Entwicklung von S/4HANA auf die Anforderungen der Unternehmen eingegangen wurde. Mit dem Produktportfolio von S/4HANA kommen eine überarbeitete Anwenderoberfläche, Möglichkeiten zur Auslagerung der Systeme in die Cloud und Anwendungen, die externe Daten in das ERP-System integrieren können. Durch die Bereitstellung über die Cloud werden ERP-Systeme auch für finanziell schwächere Unternehmen möglich gemacht. SAP verfolgt damit zukunftsorientierte Visionen der Industrie 4.0 (siehe Kapitel 3.2 *Technologieneuerungen*).

Als technologisches Hauptmerkmal von S/4HANA ist das Datenbanksystem SAP HANA einzuordnen. So konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass SAP HANA durch neuste Technologien, Datensätze performanter verarbeiten kann. Dies wurde mit einem Performancevergleich der Datenbanksysteme von SAP HANA und dem Konkurrenzprodukt von Oracle, Oracle 18c, belegt (siehe Kapitel 4 *Performance test*). Hierbei ist zu erwähnen, dass der Performancevergleich nicht unter vollständig identischen Ausgangslagen durchgeführt wurde. Aufgrund der Reproduzierbarkeit wurde der Aufbau des Performancevergleichs detailliert beschrieben. Zusätzlich wurden mehrere mögliche Fehlervariablen dokumentiert. Dadurch können in Zukunft ähnliche

Performancetest optimierter durchgeführt werden. Die gewonnen Ergebnisse des durchgeführten Performancetests sind aufgrund der deutlich kürzeren Verarbeitungszeiten von SAP HANA dennoch von Bedeutung. Zurückzuführen lässt sich die kürzere Verarbeitungszeit von SAP HANA auf die In-Memory Technologie und die Speicherung von Tabellen in spaltenbasierter Form. Mit der In-Memory Technologie werden ausgewählte Datensätze in den Arbeitsspeicher geladen. Dort ist das Verarbeiten der Daten um ein Vielfaches schneller als auf dem üblichen Festplattenspeicher. Gleichzeitig ist das Speichern auf dem Arbeitsspeicher gefährlicher, da bei einem Stromausfall Datensätze verloren gehen. SAP HANA umgeht diese Risiken mit einer regelmäßigen Synchronisierung des Arbeitsspeichers zum Festplattenspeicher, da dieser stromunabhängig ist (siehe *Kapitel 3.3.1 In-Memory Technologie*). Die spaltenbasierte Tabellenspeicherung baut auf der Verarbeitungsgeschwindigkeit der In-Memory Technologie auf. Die spaltenbasierte Tabellenspeicherung stellt bei SAP HANA eine einheitliche Tabelle aus drei unterschiedlichen physischen Speichereinheiten dar. Demnach werden Datensätze im Endzustand tatsächlich spaltenweise abgespeichert. Dadurch können Datensätze schneller gelesen und aggregiert werden. Zuvor werden die Datensätze jedoch zeilenbasiert abgespeichert. Dadurch können die Datensätze schnell festgeschrieben werden. Mithilfe einer Zwischentabelle werden dann die zeilenbasierten Datensätze in eine spaltenbasierte Form transformiert. Im Anschluss wird die Zwischentabelle zu einem systemoptimierten Zeitpunkt in den spaltenbasierten Endzustand gespeichert. Durch diese Technologie können in SAP HANA transaktionale Daten geschrieben und analytische Daten ohne großen Zeitverzug abgerufen werden (siehe *Kapitel 3.3.2 Spaltenbasierte Tabellenabspeicherung*). Dem Lesen und Schreiben von Datensätzen sind mit SAP HANA nur noch kleine Grenzen hinsichtlich der Verarbeitungszeit gesetzt. Anwendungen können dadurch den Stand der Geschäftsprozesse in Echtzeit veranschaulichen und analysieren.

Festgehalten werden kann, dass eine Datenverarbeitung von transaktionalen und analytischen Daten in Echtzeit, einen grundlegenden Mehrwert für Geschäftsprozesse schaffen. In der Arbeit wurde jedoch nicht untersucht, ob die Module von S/4HANA die Datenverarbeitung in Echtzeit unterstützen. Es ist zudem unklar, welche Ausmaße die Mehrwerte von S/4HANA bei Geschäftsprozessen annehmen. Zu beachten ist dabei, dass ERP-Systeme nicht nur zwingend für unternehmerische Geschäftsprozesse, sondern auch für Universitäten, Behörden und Notdienststellen relevant sind. Interessant zu untersuchen wäre es, ob sich die technologischen Mehrwerte im Vergleich zu den Kosten eines ERP-Systems lohnen.

6 Literaturverzeichnis

- [AR_19] Anane Adusei, Dickson; Rötting, Ingo; Yamada, Stefan: *SAP HANA – Datenmodellierung*. Rheinwerk Publishing, 1. Auflage, Bonn, Deutschland, 2019.
- [AA_18] Antolovic, Miroslav; Arlitt, Robert; Gahm, Hermann; Junges, Michael; Otto, Jens; Schabert, Simone: *Der SAP-Tuning-Guide - Best Practices für Performanceexperten*. Rheinwerk Publishing, 1. Auflage, Bonn, Deutschland, 2018.
- [BS_15] Bingler, Dirk; Sontow, Karsten; Vollmer, Martin: *Enterprise Resource Planning - Bausteine einer betriebswirtschaftlichen Komplettlösung - Nutzung, Nutzen und Trend*, 1–26, Publikation Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., Berlin, Deutschland, 2015.
- [B_19] Böning, Christian: *Kompaktwissen über ERP*. <https://www.iph-hannover.de/de/information/erp-mes/erp/>, o. J. bei Institut für Integrierte Produktion Hannover, letzter Abruf 13.01.2019.
- [B_05] Brause, Rüdiger: *Kompendium der Informationstechnologie - Hardware, Software, Client-Server-Systeme, Netzwerke, Datenbanken*. Springer, Heidelberg, Deutschland, 2005.
- [DK_84] DeWitt, David; Katz, Randy; Olken, Frank: *Implementation techniques for main memory database systems*, 1–8. ACM, Association for Computing Machinery, International Conference on Management of Data, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, 1984.
- [D_12] Dobrin, David: *Row and Column*. <https://blogs.saphana.com/2012/06/05/row-and-column/>, 05.06.2012 bei blogs.saphana.com, letzter Abruf 05.01.2019.
- [E_19] Eclipse: *Eclipse Neon 3 Packages*. <https://www.eclipse.org/downloads/packages/release/neon/3>, o.J. bei eclipse.org, letzter Abruf 15.02.2019.
- [EX_19] eforexcel: *Downloads 18 - Sample CSV Files / Data Sets for Testing*. <http://eforexcel.com/wp/downloads-18-sample-csv-files-data-sets-for-testing-sales/>, 26.08.2017 bei eforexcel.com, letzter Abruf 09.02.2019.
- [GV_17] Gärtner, Bernhard; Valek, Sven: *ERP as a Service - Chancen und Risiken einer Auslagerung von ERP-Systemen in die Cloud*, 54–59, Johannes Kepler University, Controller Magazin, Linz, Deutschland, 2017.

- [GC_16] Gluchowski, Peter; Chamoni, Peter: *Analytische Informationssysteme - Business Intelligence, Technologien und Anwendungen*. Gabler, 5. Auflage, Berlin, Deutschland, 2016.
- [G_18] Gupta, Raja Prasad: *S/4 HANA On-Premise Vs S/4 HANA Cloud*. <https://blogs.sap.com/2018/11/10/s4-hana-on-premise-vs-s4-hana-cloud/>, 10.11.2018 bei blogs.saphana.com, letzter Abruf 22.01.2019.
- [H_08] Häberle, Siegfried Georg: *Das neue Lexikon der Betriebswirtschaftslehre - Kompendium und Nachschlagewerk mit 200 Schwerpunktthemen, 6.000 Stichwörtern, 2.000 Literaturhinweisen sowie 1.300 Internetadressen*. Oldenbourg, München, Deutschland, 2008.
- [H_18] Hardie, William: *Oracle Database 18c XE now available!* <https://blogs.oracle.com/oracle-database/oracle-database-18c-xe-now-available>, 20.10.2018 bei blogs.oracle.com, letzter Abruf 08.02.2019.
- [HG_14] Hessel, Martin; Görtz, Marcus: *Basiswissen ERP-Systeme - Auswahl, Einführung & Einsatz betriebswirtschaftlicher Standardsoftware*. W3L-Verlag, 3. Auflage, Witten, Deutschland, 2014.
- [I_19] Intel: *Unterstützt mein Prozessor die Intel Virtualisierungstechnik?* <https://www.intel.de/content/www/de/de/support/articles/000005486/processors.html>, o.J. bei intel.de, letzter Abruf 15.02.2019.
- [I_18] itwissen: *Three-Tier-Architektur*. <https://www.itwissen.info/Three-Tier-Architektur-three-tier-architecture.html>, 27.07.2018 bei itwissen.info, letzter Abruf 15.02.2019.
- [K_16] Koglin, Ulf: *SAP S/4HANA - Voraussetzungen - Nutzen - Erfolgsfaktoren*. Rheinwerk Publishing, 1. Auflage, Bonn, Deutschland, 2016.
- [KS_12] Köppen, Veit; Sattler, Kai-Uwe; Saake, Gunter: *Data Warehousing - Technische Grundlagen*. mitp, 1. Auflage, Heidelberg, Deutschland, 2012.
- [L_17] Lal, Amit: *SAP HANA Savepoint Mechanism - Internal stages*. <https://blogs.sap.com/2017/12/04/sap-hana-savepoint-mechanism-internal-stages/>, 04.12.2017 bei blogs.saphana.com, letzter Abruf 29.01.2019.
- [L_16] Litzel, Nico: *Was ist Business Intelligence – BI?* <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-business-intelligence-bi-a-563185/>, 01.09.16 bei bigdata-insider.de, letzter Abruf 14.01.2019.

- [M_08] Manhart, Klaus: *BI-Methoden - Ad-hoc Analysen mit OLAP*. <https://www.tecchannel.de/a/bi-methoden-teil-1-ad-hoc-analysen-mit-olap,1751285,2>, 16.04.2008 bei tecchannel.de, letzter Abruf 16.01.2019.
- [M_19_2] Microsoft: *Office: Erstellen oder Bearbeiten von CSV - Dateien zum Importieren in Outlook*. <https://support.office.com/de-de/article/erstellen-oder-bearbeiten-von-csv-dateien-zum-importieren-in-outlook-4518d70d-8fe9-46ad-94fa-1494247193c7>, o.J. bei support.office.com, letzter Abruf 09.02.2019.
- [M_19_1] Microsoft: *Produkt Dynamic NAV*. <https://dynamics.microsoft.com/de-de/nav-overview/>, o.J. bei dynamics.microsoft.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [OC_17] O'Hare, Joe; Cooke, Ben; Deshpande, Sarin: *Neue MRAM-Speicherklasse verhält sich wie nicht-flüchtiges DRAM*. <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/neue-mram-speicherklasse-verhaelt-sich-wie-nicht-fluechtiges-dram-a-643176/>, 13.09.17 bei elektronikpraxis.vogel.de, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_19_1] Oracle: *Java SE Runtime Environment 8 - Downloads*. <https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jre8-downloads-2133155.html>, o.J. bei oracle.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_19_3] Oracle: *Oracle 18c XE*. <https://www.oracle.com/technetwork/database/database-technologies/express-edition/downloads/index.html>, o. J. bei oracle.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_19_4] Oracle: *Oracle 18c XE Installation Guide*. <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/18/xeinl/installation-guide.html#GUID-31891F22-B1FA-4489-A1C5-195E6B3D89C8>, o. J. bei oracle.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_19_2] Oracle: *Oracle Linux 7.6*. <https://www.oracle.com/technetwork/server-storage/linux/downloads/index.html>, o. J. bei oracle.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_19_5] Oracle: *Oracle SQL Developer 18.4*. <https://www.oracle.com/technetwork/developer-tools/sql-developer/downloads/index.html>, o. J. bei oracle.com, letzter Abruf 15.02.2019.
- [O_18_2] Oracle: *Introducing Oracle Database 18c*, 1–15, Oracle White Paper, 2018.
- [O_18_1] Oracle: *Oracle Enterprise Resource Planning - Cloud Service Implementation Leading Practice Release 13*, 1–38, Oracle White Paper, 2018.

[P_17] Panorama Consulting Solutions: *Chlash of the Titans 2017 - An Independent Comparison of SAP, Oracle, Microsoft Dynamics and Infor*, 1–27, Independent ERP Benchmark Survey between October 2015 and November 2016, 2017.

[P_14] Parks, Shaheen: *Projected Cost Analysis of the SAP HANA Platform - Cost Savings Enabled By Transitioning to the SAP HANA Platform*, 1–34, A Forrester Total Economic Impact Study Commissioned By SAP, 2014.

[PS_08] Polte, Milo; Simsa, Jiri; Gibson, Garth: *Comparing Performance of Solid State Devices and Mechanical Disks*, 1–7. IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Petascale Data Storage Workshop, Piscataway, Vereinigte Staaten von Amerika, 2008.

[P_17] Preuss, Peter: *In-Memory-Datenbank - SAP HANA*. Gabler, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland, 2017.

[PwC_14] PricewaterhouseCoopers: *Global 100 Software Leaders by revenue*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/publications/global-100-software-leaders/explore-the-data.html>, 2014 bei pwc.com, letzter Abruf 08.02.2019.

[S_19] sage: *ERP-Software*. <https://www.sage.com/de-de/erp-software/>, o.J. bei sage.com, letzter Abruf 15.02.2019.

[SAP_19_4] SAP SE: *Install SAP HANA 2.0 - express edition on a Preconfigured Virtual Machine*. <https://developers.sap.com/group.hxe-install-vm-xsa.html>, o.J. bei developres.sap.com, letzter Abruf 09.02.2019.

[SAP_19_1] SAP SE: *Produkt S/4HANA*. <https://www.sap.com/germany/products/s4hana-erp.html>, o.J. bei sap.com, letzter Abruf 15.02.2019.

[SAP_19_2] SAP SE: *Reorganisation und Komprimierung*. https://help.sap.com/doc/PRODUCTION/saphelp_sm71_sp13/7.1.13/de-DE/09/299551dda7f733e10000000a44176d/content.htm?no_cache=true, o.J. bei help.sap.com, letzter Abruf 07.02.2019.

[SAP_19_3] SAP SE: *SAP HANA - express edition*. <https://developers.sap.com/topics/sap-hana-express.html>, o.J. bei developres.sap.com, letzter Abruf 08.02.2019.

[SAP_17] SAP SE: *Produkte Forschung und Entwicklung und Services - SAP Integrierter Bericht 2016*. <https://www.sap.com/integrated->

reports/2016/de/strategy/products-rd-and-services.html, 2017 bei sap.com, letzter Abruf 22.01.2019.

[SF_12] Sikka, Vishal; Färber, Franz; Lehner, Wolfgang; Kyun Cha, Sang: *Efficient Transaction Processing in SAP HANA Database - The End of a Column Store Myth*, 731–741. ACM, ACM Special Interest Group on Management of Data, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, 2012.

[SF_17] Silvia, Penny; Frye, Rob; Berg, Bjarne: *SAP HANA - Die neue Einführung*. Rheinwerk Publishing, 3. Auflage, Bonn, Deutschland, 2017.

[T_17] Tutanch: *Was ist SAP HANA?* <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-sap-hana-a-617851/>, 20.06.2017 bei bigdata-insider.de, letzter Abruf 07.01.2019.

[VB_19] VirtualBox: *Download VirtualBox (Old Builds) - VirtualBox 5.2*. https://www.virtualbox.org/wiki/Download_Old_Builds_5_2, o.J. bei virtualbox.org, letzter Abruf 15.02.2019.

[WZ_15] Wang, Haozhou; Zheng, Kai; Jeung, Hoyoung: *Databases Theory and Applications - Storing and Processing Massive Trajectory Data on SAP HANA*, 66–77. Springer International Publishing, 26th Australasian Database Conference, Melbourne, Australia, 2015.

[WC_19] weclapp: *Ein ERP-System, das Freude macht!* <https://www.weclapp.com/de/erp-system/>, o.J. bei weclapp.com, letzter Abruf 15.02.2019.

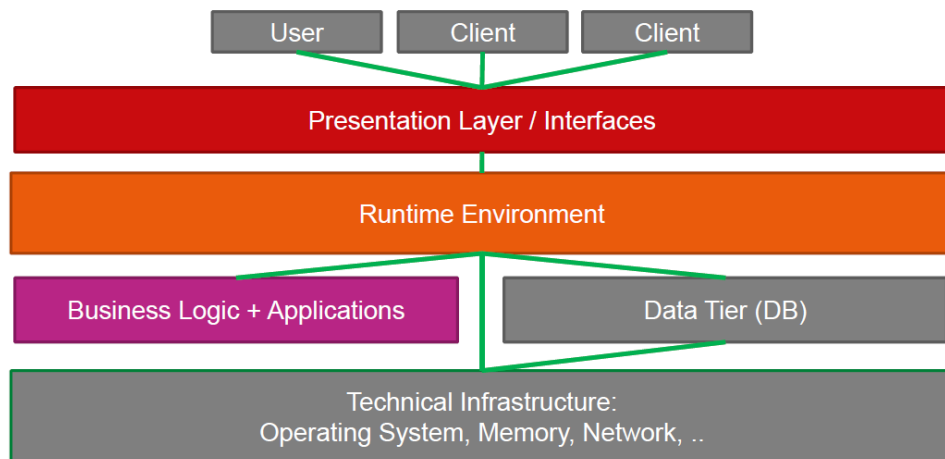
[W_17] Westenberger, Hartmut: *Betriebliche Anwendungssysteme I - Kapitel 4: ERP Fundamentals*, 1–36, Vorlesungsfolien, Gummersbach, Deutschland, 2017.

[W_19] Wroblewski, Daniel: *How to download and install the HANA Eclipse plugin*. <https://developers.sap.com/germany/tutorials/hxe-howto-eclipse.html>, 21.01.2019 bei developers.sap.com, letzter Abruf 09.02.2019.

Anhang

Architektur betrieblicher Anwendungssysteme

ERP-System Reference Model



BA I / SS17

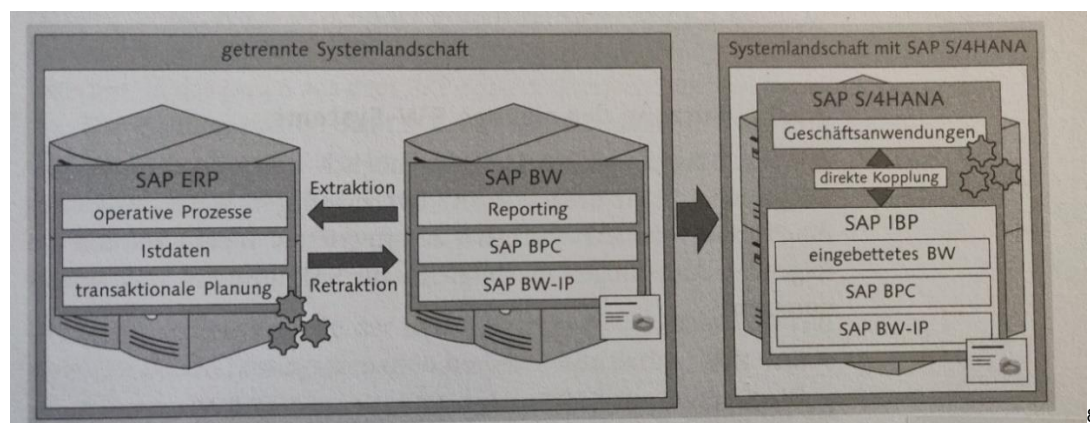
(c) Westenberger/TH Köln - SAP GUI: (c) SAP

25

Technology
Arts Sciences
TH Köln

85

Abbildung 9: ERP-System Referenz Modell

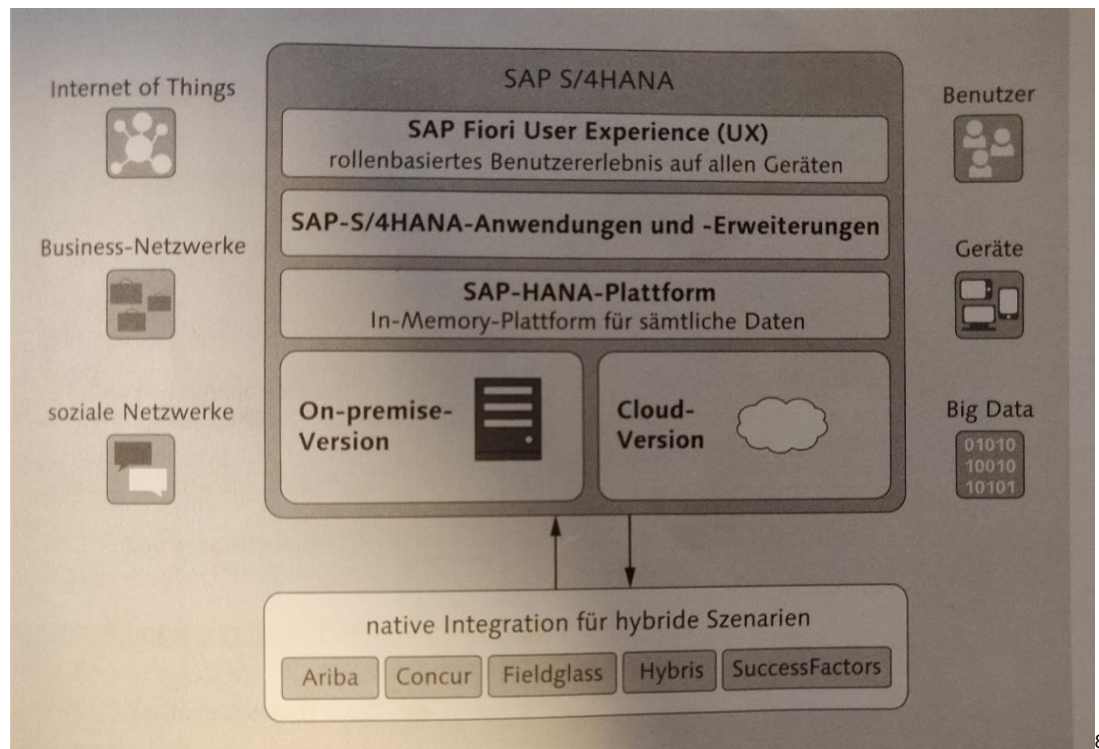


86

Abbildung 10: Systemlandschaft von SAP S/4HANA

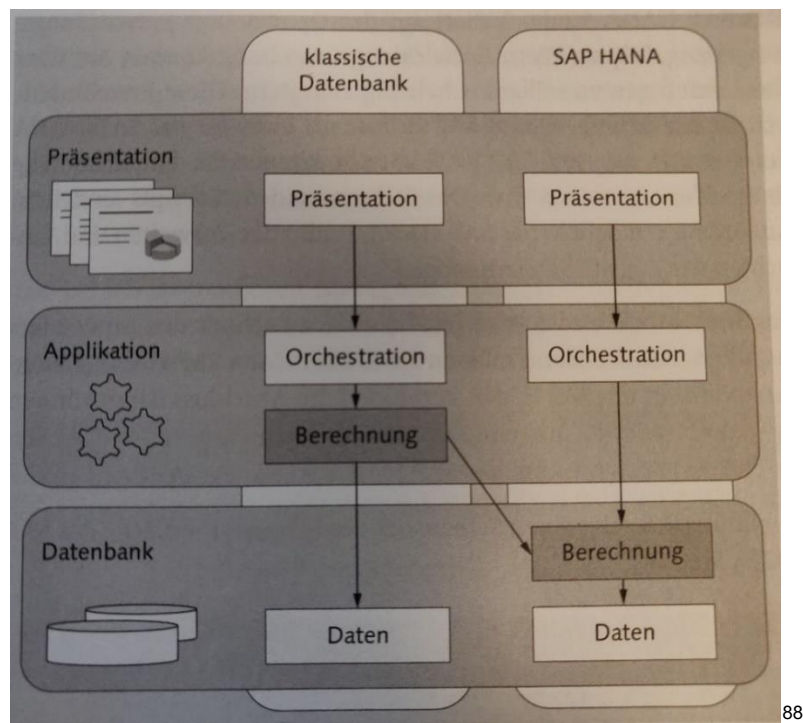
⁸⁵ [W_17]: *Betriebliche Anwendungssysteme I*, Kap. ERP Fundamentals, S.25.

⁸⁶ [K_16]: *SAP S/4HANA*, Kap. 3.7, S. 121.



87

Abbildung 11: Moderne Anforderungen und S/4HANA

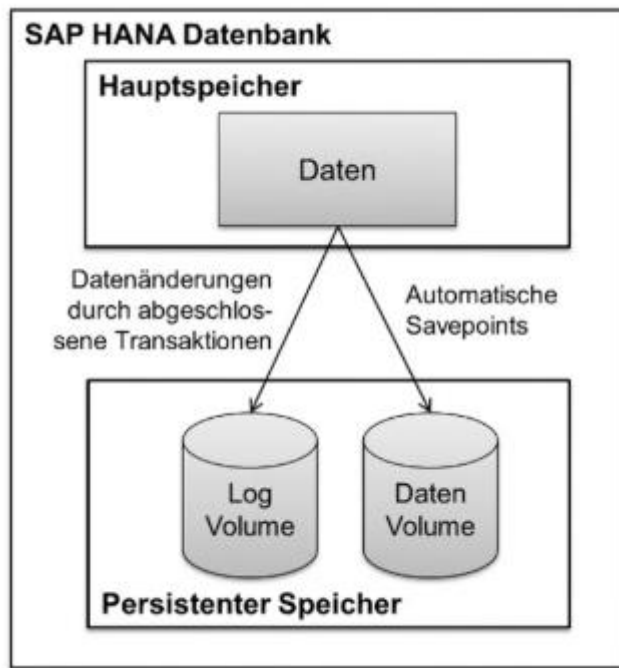


88

Abbildung 12: Code Pushdown

⁸⁷ [K_16]: SAP S/4HANA, Kap. 1.3, S. 41.

⁸⁸ [K_16]: SAP S/4HANA, Kap. 2.2, S. 63.



89

Abbildung 13: Zuordnung zwischen den zu persistierenden Daten und Volumes

zeilenbasiertes Speicherverfahren		spaltenbasiertes Speicherverfahren	
Zeile 1	DE	Land	DE
	Kunde A		DE
	120000		DK
	EUR		US
Zeile 2	DE	Kunde	Kunde A
	Kunde B		Kunde B
	350000		Kunde C
	EUR		Kunde D
Zeile 3	DK	Umsatz	120000
	Kunde C		350000
	1250000		1250000
	DKK		250000
Zeile 4	US	Währung	EUR
	Kunde D		EUR
	250000		DKK
	USD		USD

90

Abbildung 14: Zeilen- und spaltenbasiertes Speicherverfahren

⁸⁹ [P_17]: *In-Memory-Datenbank*, Kap. 5.3.2, S. 143.

⁹⁰ [AR_19]: *SAP HANA – Datenmodellierung*, Kap. 2.4, S. 67.

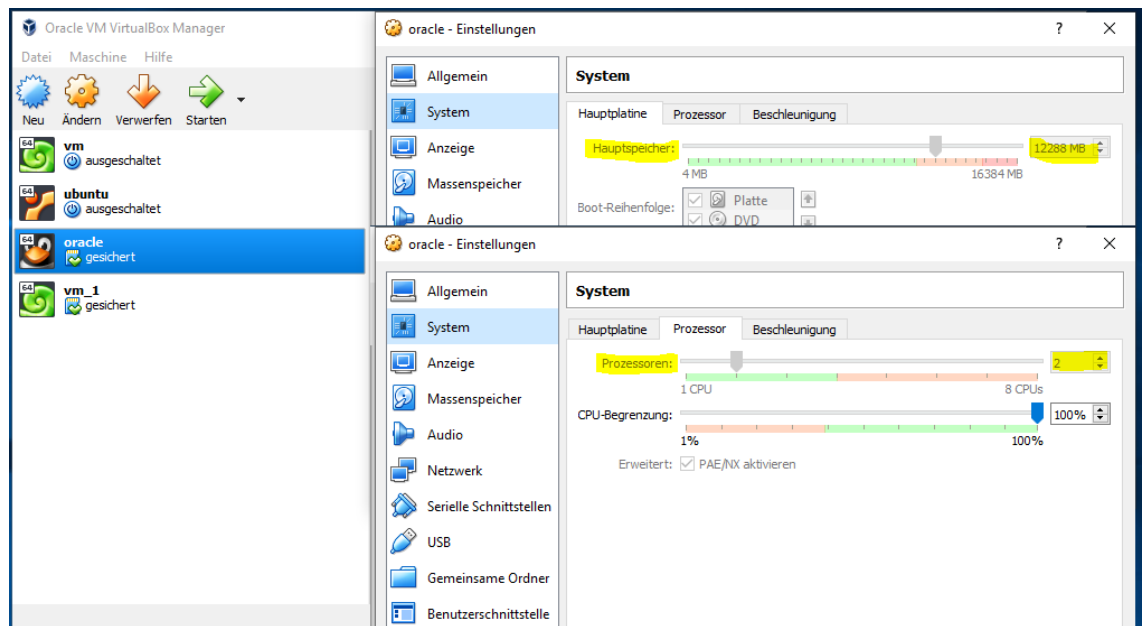


Abbildung 15: VirtualBox – Oracle Linux Hardwarespezifikationen (Performancetest)

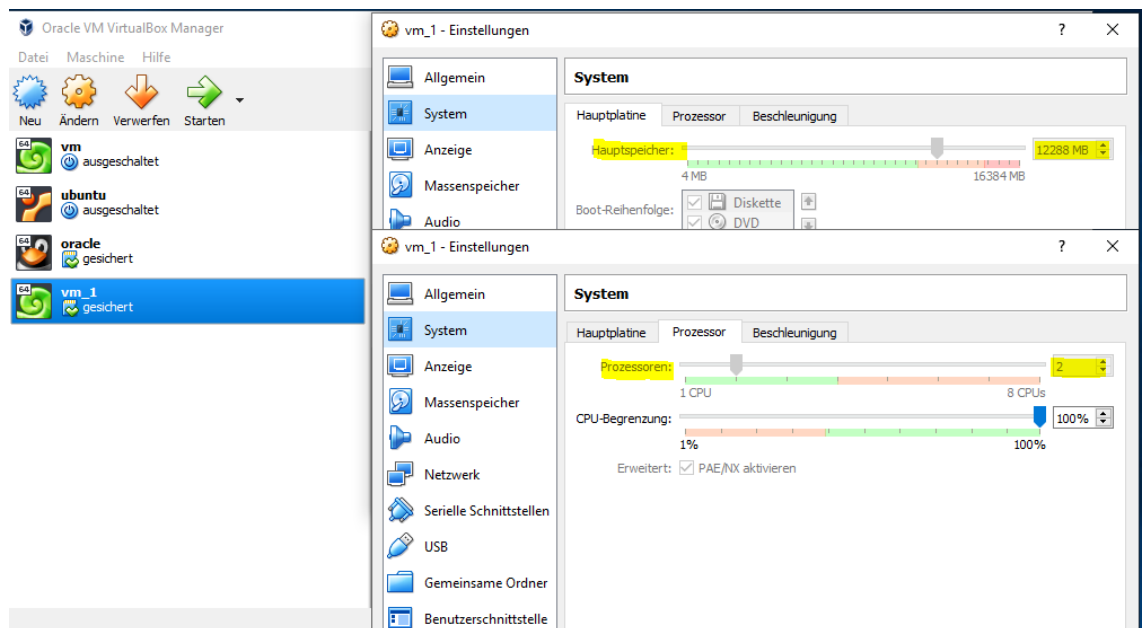


Abbildung 16: VirtualBox – OpenSuse Linux Hardwarespezifikationen (Performancetest)

<div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></</div></div></div>

Abbildung 17: Log von SAP HANA XE bei Performancetest CREATE (Performancetest)

```

importElapsedTimeSalesRecords Oracle18cXE - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
** Start von Importieren ** um 2019.02.04-06.29.57
/home/linux/Dokumente/100 Sales Records.csv in XE.SYS.salesrecords100 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-06.29.57
->0

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.29.04
/home/linux/Dokumente/1000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords1000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.29.04
->0

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.32.11
/home/linux/Dokumente/5000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords5000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.32.12
->1

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.30.53
/home/linux/Dokumente/10000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords10000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.30.55 ->2

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.33.26
/home/linux/Dokumente/50000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords50000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.33.34
->8

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.34.48
/home/linux/Dokumente/100000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords100000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.35.03
->15

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.37.03
/home/linux/Dokumente/500000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords500000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.38.17
->74

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.39.40
/home/linux/Dokumente/1000000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords1000000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.42.13
->153

** Start von Importieren ** um 2019.02.04-07.12.18
/home/linux/Dokumente/1500000 Sales Records.csv in XE.SYS.SalesRecords1500000 importieren
Lademethode: Einfügen** Ende von Importieren ** um 2019.02.04-07.16.19
->241

```

Abbildung 18: Log von Oracle 18x CE bei Performancetest CREATE (Performancetest)

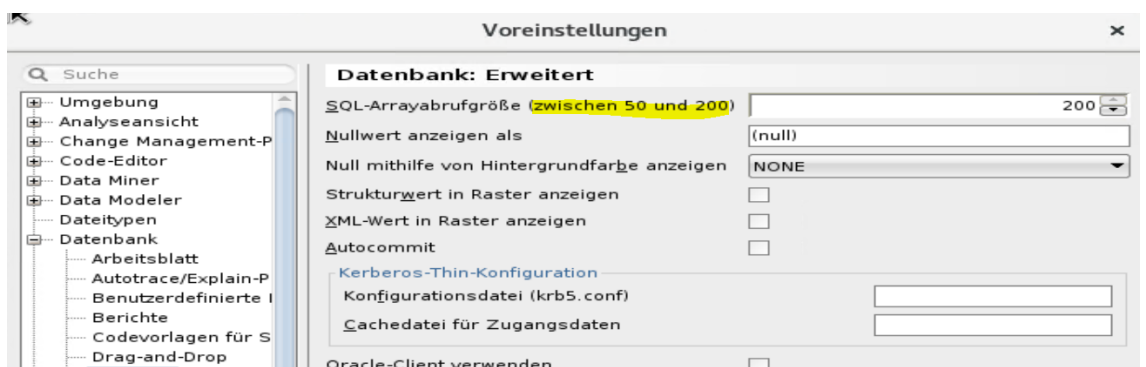


Abbildung 19: Oracle SQL Developer Maximale Arrayabrufgröße 200 (Performancetest)

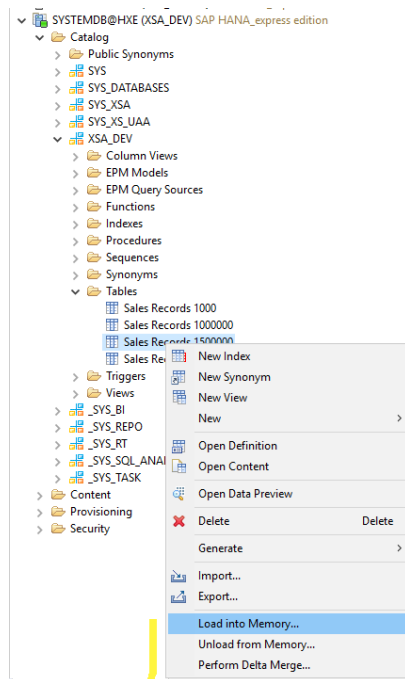


Abbildung 20: SAP HANA XE Tabelle in Arbeitsspeicher laden (Performancetest)

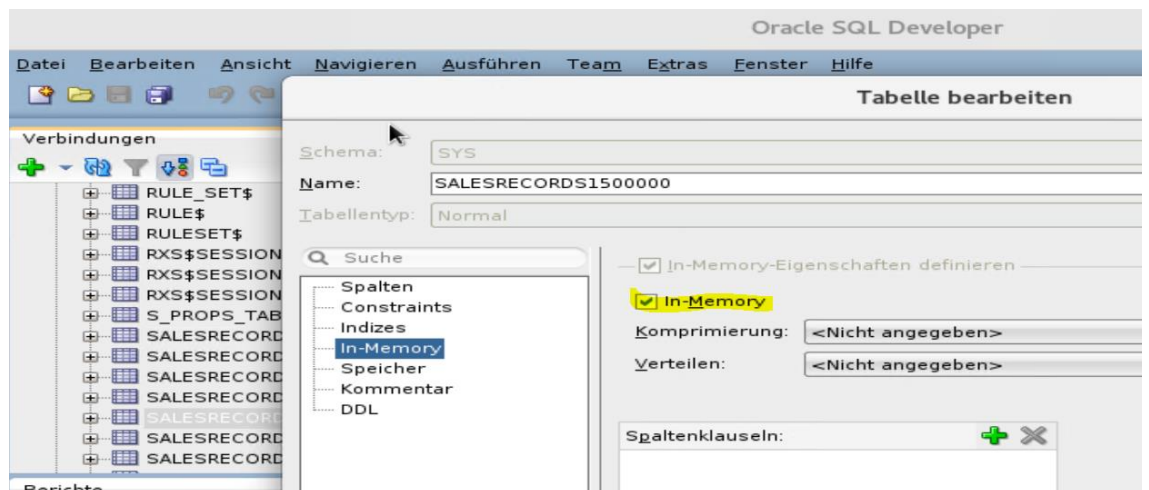


Abbildung 21: Oracle 18c XE Tabelle in Arbeitsspeicher laden (Performancetest)

SYSTEMDB@HXE - SQL Console 1		SAP HANA XE Read Select SQL.sql
SYSTEMDB@HXE (XSA_DEV)		192.168.0.39 90
SQL	Result	
SELECT * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = 661327.19		
	Region	Country
1	Middle East and North Africa	Iraq
	Item Type	Clothes
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	L
	Order Date	1/31/2015
	Order ID	821.297.395
	Ship Date	2/1/2015
	Units Sold	9.005
	Unit Price	109,28
	Unit Cost	35,84
	Total Revenue	984.066,4
	Total Cost	322.739,2
	Total Profit	661.327,19
vor dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher		
Statement 'SELECT * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = ...'		
successfully executed in 557 ms 349 µs (server processing time: 556 ms 389 µs)		
Fetched 1 row(s) in 0 ms 5 µs (server processing time: 0 ms 0 µs)		
nach dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher		
Statement 'SELECT * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = ...'		
successfully executed in 2 ms 349 µs (server processing time: 1 ms 659 µs)		
Fetched 1 row(s) in 0 ms 5 µs (server processing time: 0 ms 0 µs)		

Abbildung 22: SAP HANA XE READ einzelne Zeile (Performancetest)

SYSTEMDB@HXE - SQL Console 1		SAP HANA XE Read Select SQL.sql
SYSTEMDB@HXE (XSA_DEV)		192.168.0.39 90
SQL	Result	
SELECT TOP 50 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Order ID" BETWEEN 200000000 AND 800000000 AND "Order Priority" IN ('C','M') AND "Region" = 'Asia'		
	Region	Country
1	Asia	Bangladesh
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	7/24/2015
	Order ID	656.286.609
	Ship Date	7/27/2015
	Units Sold	8.647
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.778.687,89
	Total Cost	0
	Total Profit	766.037,72
2	Asia	Singapore
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	5/3/2013
	Order ID	717.958.533
	Ship Date	5/17/2013
	Units Sold	8.739
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.797.612,3
	Total Cost	0
	Total Profit	774.188,01
3	Asia	China
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	2/3/2014
	Order ID	671.425.426
	Ship Date	3/11/2014
	Units Sold	8.559
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.760.586,3
	Total Cost	0
	Total Profit	758.241,81
4	Asia	Mongolia
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	6/28/2014
	Order ID	327.686.822
	Ship Date	6/29/2014
	Units Sold	8.667
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.782.801,89
	Total Cost	0
	Total Profit	767.809,53
5	Asia	Brunei
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	3/17/2013
	Order ID	549.029.147
	Ship Date	4/15/2013
	Units Sold	8.780
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.806.046
	Total Cost	0
	Total Profit	777.820,19
6	Asia	Philippines
	Item Type	Cereal
	Sales Channel	Offline
	Order Priority	M
	Order Date	5/1/2012
	Order ID	440.487.229
	Ship Date	6/12/2012
	Units Sold	8.815
	Unit Price	205,69
	Unit Cost	117,1
	Total Revenue	1.813.245,5
	Total Cost	0
	Total Profit	780.920,84
vor dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher		
Statement 'SELECT TOP 50 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Order ID" BETWEEN 200000000 AND ...'		
successfully executed in 231 ms 833 µs (server processing time: 230 ms 779 µs)		
Fetched 50 row(s) in 1 ms 436 µs (server processing time: 0 ms 248 µs)		
nach dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher		
Statement 'SELECT TOP 50 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Order ID" BETWEEN 200000000 AND ...'		
successfully executed in 6 ms 824 µs (server processing time: 5 ms 767 µs)		
Fetched 50 row(s) in 1 ms 303 µs (server processing time: 0 ms 342 µs)		

Abbildung 23: SAP HANA XE READ 50 Zeilen (Performancetest)

SYSTEMDB@HXE - SQL Console 1

SYSTEMDB@HXE - XSA_DEV.Sales Records 1000000

SYSTEMDB@HXE - XSA_DEV.Sales Records 1000

SYSTEMDB@HXE (XSA_DEV)192.168.0.39 90

SQL

Result

SELECT TOP 100 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Total Revenue" BETWEEN 90000 AND 100000 AND "Order Priority" IN ('H','L') AND "Region" = 'Europe'

	Region	Country	Item Type	Sales Channel	Order Priority	Order Date	Order ID	Ship Date	Units Sold	Unit Price	Unit Cost	Total Revenue	Total Cost	Total Profit
1	Europe	Estonia	Snacks	Offline	L	6/8/2016	604.759.442	7/22/2016	613	152,58	97,43	93.531,53	59.730,72	33.800,81
2	Europe	Germany	Vegetables	Online	H	7/28/2011	277.714.049	8/13/2011	613	154,06	90,93	94.438,77	55.740,08	38.698,69
3	Europe	Estonia	Vegetables	Offline	H	6/14/2011	889.530.217	7/29/2011	613	154,06	90,93	94.438,77	55.740,08	38.698,69
4	Europe	Monte...	Clothes	Offline	H	5/29/2012	863.037.717	7/15/2012	894	109,28	35,84	97.696,32	32.040,95	65.655,36
5	Europe	Albania	Clothes	Online	L	8/16/2012	661.768.615	9/11/2012	894	109,28	35,84	97.696,32	32.040,95	65.655,36
6	Europe	Poland	Clothes	Offline	H	7/12/2012	251.221.549	7/30/2012	894	109,28	35,84	97.696,32	32.040,95	65.655,36
7	Europe	Georgia	Personal ...	Online	L	9/7/2010	373.754.727	9/19/2010	1.184	81,73	56,67	96.768,32	67.097,27	29.671,04
8	Europe	Luxem...	Househo...	Online	H	2/11/2013	992.630.040	2/22/2013	142	668,26	502,54	94.894,33	71.360,67	23.533,65
9	Europe	Luxem...	Househo...	Online	H	2/11/2013	992.630.040	2/22/2013	142	668,26	502,54	94.894,33	71.360,67	23.533,65
10	Europe	Cyprus	Baby Food	Online	L	1/26/2010	116.488.397	3/1/2010	360	255,28	159,41	91.900,8	57.391,19	34.509,59
11	Europe	Iceland	Baby Food	Offline	H	6/7/2010	981.039.893	7/27/2010	360	255,28	159,41	91.900,8	57.391,19	34.509,59
12	Europe	Luxem...	Fruits	Offline	L	5/22/2015	902.267.920	6/23/2015	9.983	9,33	6,91	93.141,38	69.082,36	24.059,02
13	Europe	Russia	Baby Food	Offline	L	4/6/2014	170.040.750	5/10/2014	355	255,30	150,41	90.624,30	55.654,00	34.969,30

vor dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher

Statement 'SELECT TOP 100 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Total Revenue" BETWEEN 90000 AND ...'

successfully executed in 623 ms 477 µs (server processing time: 622 ms 663 µs)

Fetched 100 row(s) in 1 ms 575 µs (server processing time: 0 ms 379 µs)

nach dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher

Statement 'SELECT TOP 100 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Total Revenue" BETWEEN 90000 AND ...'

successfully executed in 4 ms 808 µs (server processing time: 3 ms 941 µs)

Fetched 100 row(s) in 1 ms 265 µs (server processing time: 0 ms 336 µs)

Abbildung 24: SAP HANA XE READ 100 Zeilen (Performancetest)

*SYSTEMDB@HXE - SQL Console 1 SQL Result SAP HANA XE Read Select SQL.sql

SYSTEMDB@HXE (XSA_DEV) 192.168.0.39 90

```
SELECT TOP 200 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Units Sold" BETWEEN 1000 AND 2000 AND "Order Priority" IN ('H','M') AND "Item Type" = 'Fruits'
```

	Region	Country	Item Type	Sales Channel	Order Priority	Order Date	Order ID	Ship Date	Units Sold	Unit Price	Unit Cost	Total Revenue	Total Cost	Total Profit
1	Sub-Saharan Africa	Comoros	Fruits	Offline	H	9/24/2010	497.065.103	10/12/2010	1.465	9,33	6,91	13.668,45	0	3.530,65
2	Sub-Saharan Africa	Mali	Fruits	Offline	H	3/22/2015	646.631.515	4/18/2015	1.490	9,33	6,91	13.901,7	0	3.590,9
3	Sub-Saharan Africa	Nigeria	Fruits	Offline	M	8/9/2014	942.384.755	9/18/2014	1.446	9,33	6,91	13.491,18	0	3.484,86
4	Sub-Saharan Africa	Ghana	Fruits	Offline	H	7/17/2011	670.624.196	7/29/2011	1.457	9,33	6,91	13.593,8	0	3.511,36
5	Sub-Saharan Africa	South ...	Fruits	Online	H	12/18/20...	519.807.660	2/6/2016	1.493	9,33	6,91	13.929,69	0	3.598,13
6	Sub-Saharan Africa	Madag...	Fruits	Offline	H	3/25/2017	168.465.316	4/10/2017	1.485	9,33	6,91	13.855,04	0	3.578,84

vor dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher
Statement 'SELECT TOP 200 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Units Sold" BETWEEN 1000 AND 2000 ...'
successfully executed in **547 ms 534 µs** (server processing time: 546 ms 503 µs)
Fetched 200 row(s) in 7 ms 163 µs (server processing time: 3 ms 332 µs)

nach dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher
Statement 'SELECT TOP 200 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Units Sold" BETWEEN 1000 AND 2000 ...'
successfully executed in **4 ms 857 µs** (server processing time: 4 ms 204 µs)
Fetched 200 row(s) in 1 ms 861 µs (server processing time: 0 ms 584 µs)

Abbildung 25: SAP HANA XE READ 200 (Performancetest)

*SYSTEMDB@HXE - SQL Console 1 SQL Result SYSTEMDB@HXE - XSA_DEV.Sales Records 1000

SYSTEMDB@HXE (XSA_DEV) 192.168.0.39 90

```
SELECT "Region", COUNT("Country"), SUM("Total Profit"), AVG("Units Sold") FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" GROUP BY "Region"
```

	Region	COUNT(Country)	SUM(Total Profit)	AVG(Units Sold)
1	Asia	218.882	84.884.190.022,61	4.991,71591
2	Australia and Oceania	121.405	47.164.290.281,57	5.003,66386
3	Central America an...	162.108	62.917.645.415,31	4.996,027765
4	Europe	389.079	150.964.015.926...	5.002,550484
5	Middle East and No...	186.391	72.244.971.076,58	4.998,72725
6	North America	32.528	12.651.923.034,38	4.991,639049
7	Sub-Saharan Africa	389.607	151.226.606.519...	5.001,247957

vor dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher
Statement 'SELECT "Region", COUNT("Country"), SUM("Total Profit"), AVG("Units Sold") FROM "XSA_DEV"."Sales ...'
successfully executed in **164 ms 959 µs** (server processing time: 162 ms 963 µs)
Fetched 7 row(s) in 0 ms 35 µs (server processing time: 0 ms 0 µs)

nach dem Laden der Tabelle in den Arbeitsspeicher
Statement 'SELECT "Region", COUNT("Country"), SUM("Total Profit"), AVG("Units Sold") FROM "XSA_DEV"."Sales ...'
successfully executed in **61 ms 542 µs** (server processing time: 60 ms 605 µs)
Fetched 7 row(s) in 0 ms 16 µs (server processing time: 0 ms 0 µs)

Abbildung 26: SAP HANA XE READ Aggregationsfunktion (Performancetest)

SAP HANA XE SALESRECORDS1500000

Arbeitsblatt Query Builder

```
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000
WHERE Country = 'Iraq'
AND TotalProfit = 661327.20;
```

Skriptausgabe Abfrageergebnis

SQL | Alle Zeilen abgerufen: 1 in 0,149 Sekunden

REGION	COUNTRY	ITEMTYPE
1 Middle East and North Africa	Iraq	Clothes

Abbildung 27: Oracle 18c XE READ einzelne Zeile (Performancetest)

Arbeitsblatt Query Builder

```
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000
WHERE OrderID BETWEEN 200000000 AND 800000000
AND OrderPriority IN ('C','M')
AND Region = 'Asia';
```

Skriptausgabe x Abfrageergebnis x

SQL | 50 Zeilen abgerufen in 0,017 Sekunden

	REGION	COUNTRY	ITEMTYPE	SALESCHANNEL
1	Asia	Taiwan	Fruits	Offline
2	Asia	Vietnam	Personal Care	Online

Abbildung 28: Oracle 18c XE READ 50 Zeilen (Performancetest)

Arbeitsblatt Query Builder

```
--SELECT * FROM SALESRECORDS1500000 WHERE Country = 'Europe';
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000
WHERE TotalRevenue BETWEEN 90000 AND 100000
AND OrderPriority IN ('H','L')
AND Region = 'Europe';
```

Skriptausgabe x Abfrageergebnis x

SQL | 100 Zeilen abgerufen in 0,042 Sekunden

	REGION	COUNTRY	ITEMTYPE
1	Europe	Netherlands	Fruits
2	Europe	Norway	Snacks

Abbildung 29: Oracle 18c XE READ 100 Zeilen (Performancetest)

Arbeitsblatt Query Builder

```
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000
WHERE UnitsSold BETWEEN 1000 AND 2000
AND OrderPriority IN ('H','M')
AND ItemType = 'Fruits';
```

Skriptausgabe x Abfrageergebnis x

SQL | 200 Zeilen abgerufen in 0,091 Sekunden

	REGION	COUNTRY
1	Sub-Saharan Africa	South Africa

Abbildung 30: Oracle 18c XE READ 200 Zeilen (Performancetest)

The screenshot shows the Oracle 18c XE Query Builder interface. The query is: `SELECT Region, COUNT(Country), SUM(TotalProfit), AVG(UnitsSold) FROM SALESRECORDS1500000 GROUP BY Region;`. The results are displayed in a table with two columns: REGION and COUNT(COUNTRY).

REGION	COUNT(COUNTRY)
1 Europe	389079
2 Asia	218882
3 Central America and the Caribbean	162108
4 Australia and Oceania	121405
5 Middle East and North Africa	186391
6 Sub-Saharan Africa	389607
7 North America	32528

Abbildung 31: Oracle 18c XE READ Aggregationsfunktion (Performancetest)

The screenshot shows the SAP HANA XE SQL Console interface. It displays four UPDATE statements and their execution results, including execution time and rows affected.

```

1 UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Country" = 'United Kingdom' WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = 661327.19;
2
3 UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Individual' WHERE "Country" = 'United Kingdom';
4
5 UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Sales Channel" = 'Offline', "Unit Cost" = "Unit Cost" * 0.75 WHERE "Region" = 'Individual';
6
7 UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Europe', "Units Sold" = "Units Sold" * 1.50, "Sales Channel" = 'Online' WHERE "Region" = 'Individual';
8

```

Statement 'UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Country" = 'United Kingdom' WHERE "Country" = 'Iraq' ...' successfully executed in 4 ms 998 µs (server processing time: 3 ms 472 µs) - Rows Affected: 1

Statement 'UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Individual' WHERE "Country" = 'United ...' successfully executed in 112 ms 678 µs (server processing time: 94 ms 710 µs) - Rows Affected: 8071

Statement 'UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Sales Channel" = 'Offline', "Unit Cost" = "Unit Cost" ...' successfully executed in 56 ms 760 µs (server processing time: 43 ms 98 µs) - Rows Affected: 8071

Statement 'UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Europe', "Units Sold" = "Units Sold" * ...' successfully executed in 109 ms 7 µs (server processing time: 73 ms 172 µs) - Rows Affected: 8071

Abbildung 32: SAP HANA XE UPDATE (Performancetest)

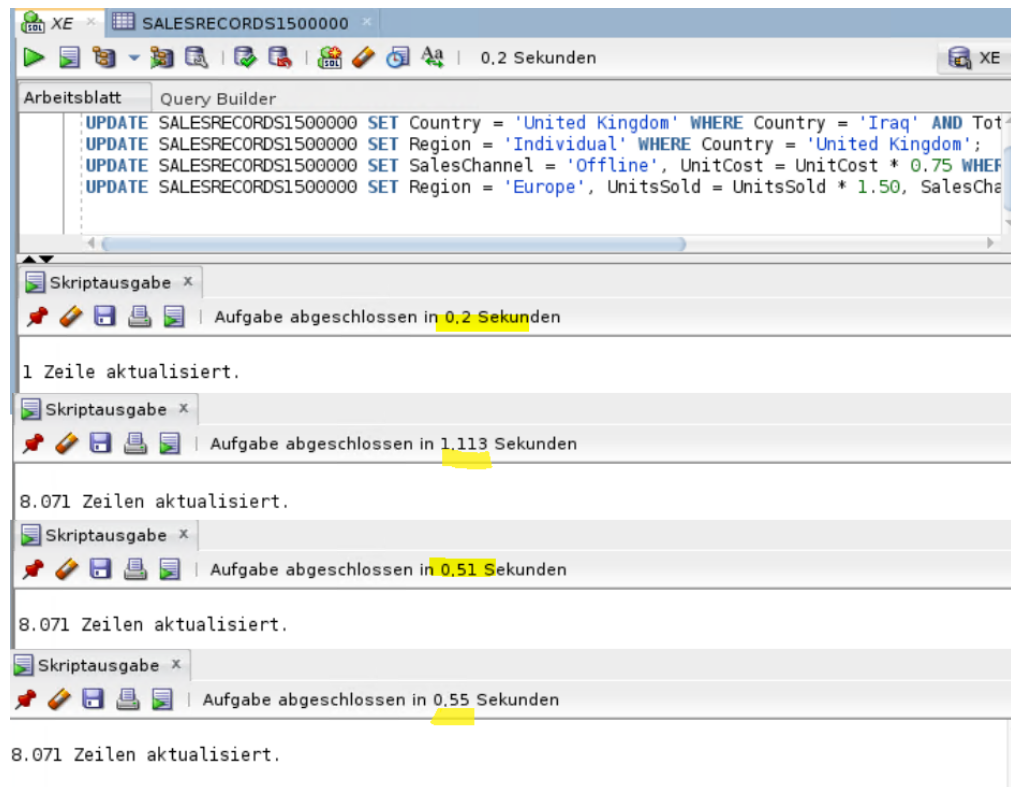


Abbildung 33: Oracle 18c XE UPDATE (Performancetest)

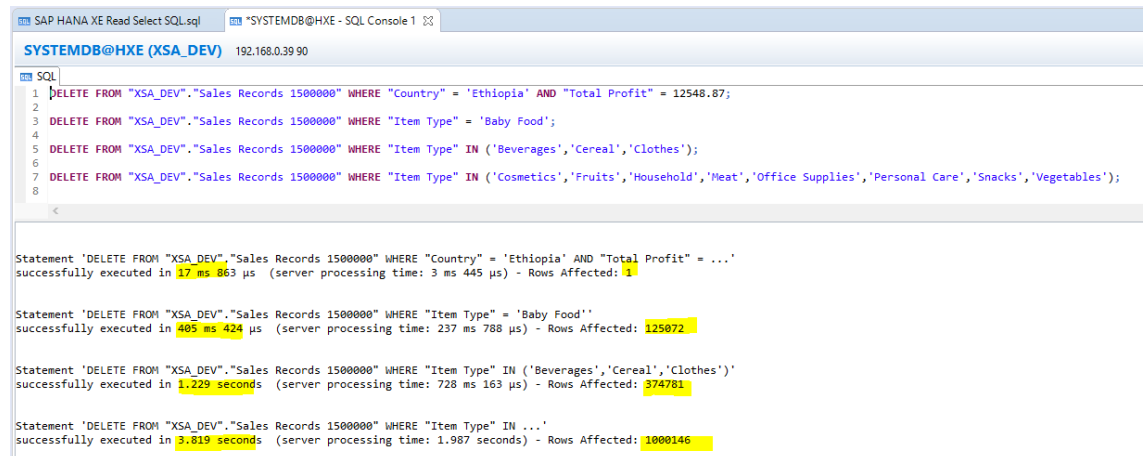


Abbildung 34: SAP HANA XE DELETE (Performancetest)

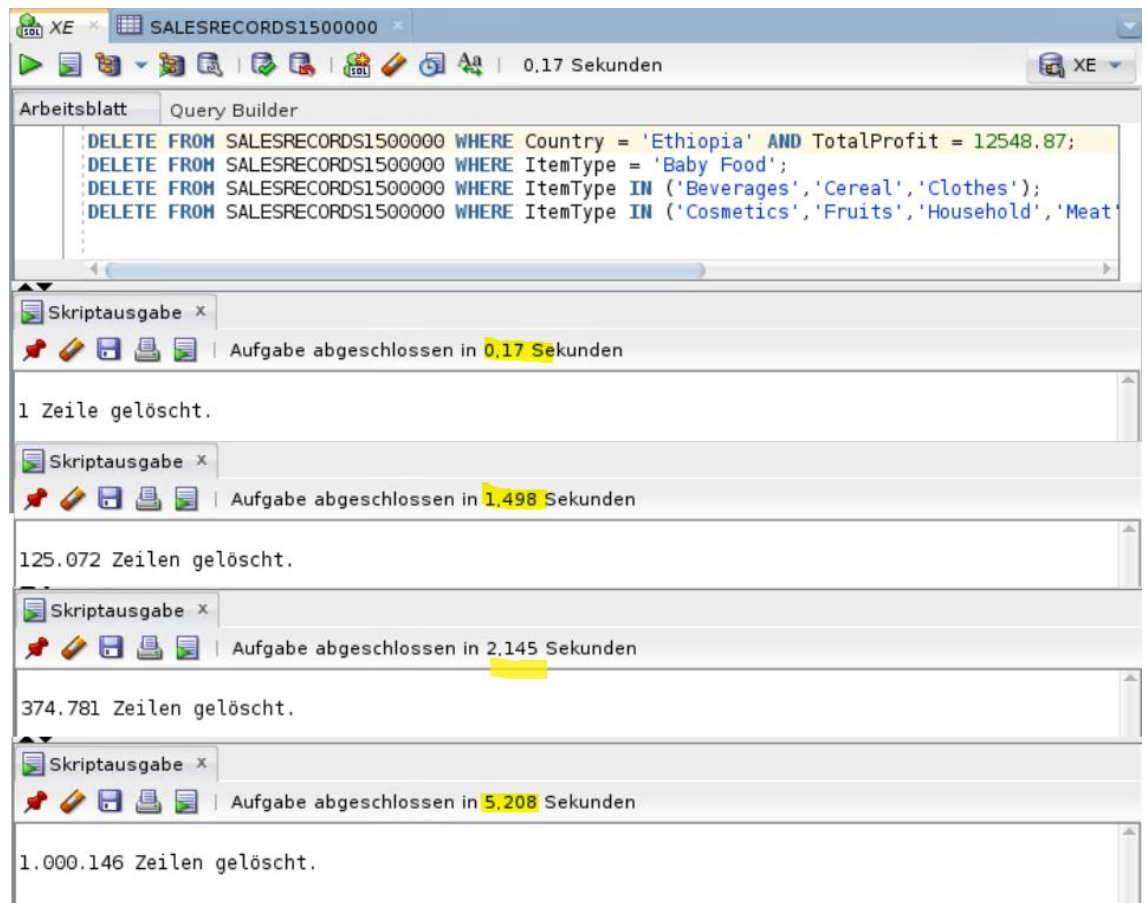


Abbildung 35: Oracle 18c XE DELETE (Performancetest)

```

SQL.sql - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
--SAP HANA XE Syntax

--READ
SELECT * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = 661327.19;
SELECT TOP 50 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Order ID" BETWEEN 2000000000 AND 8000000000 AND "Order Priority" IN ('C','M') AND "Region" = 'Asia';
SELECT TOP 100 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Total Revenue" BETWEEN 90000 AND 100000 AND "Order Priority" IN ('H','L') AND "Region" = 'Europe';
SELECT TOP 200 * FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Units Sold" BETWEEN 1000 AND 2000 AND "Order Priority" IN ('H','M') AND "Item Type" = 'Fruits';
SELECT "Region", COUNT("Country"), SUM("Total Profit"), AVG("Units Sold") FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Unit Price" BETWEEN 10 AND 1000;

--UPDATE
UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Country" = 'United Kingdom' WHERE "Country" = 'Iraq' AND "Total Profit" = 661327.19;
UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Individual' WHERE "Country" = 'United Kingdom';
UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Sales Channel" = 'Offline', "Unit Cost" = "Unit Cost" * 0.75 WHERE "Region" = 'Individual';
UPDATE "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" SET "Region" = 'Europe', "Units Sold" = "Units Sold" * 1.50, "Sales Channel" = 'Online' WHERE "Region" = 'Individual';

--DELETE
DELETE FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Country" = 'Ethiopia' AND "Total Profit" = 12548.87;
DELETE FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Item Type" = 'Baby Food';
DELETE FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Item Type" IN ('Beverages','Cereal','Clothes');
DELETE FROM "XSA_DEV"."Sales Records 1500000" WHERE "Item Type" IN ('Cosmetics','Fruits','Household','Meat','Office Supplies','Personal Care','Snacks','Vegetables');

--Oracle 18c XE Syntax

--READ
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000 WHERE Country = 'Iraq' AND TotalProfit = 661327.20;--Single
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000 WHERE TotalRevenue BETWEEN 90000 AND 100000 AND OrderPriority IN ('H','L') AND Region = 'Europe';--100
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000 WHERE OrderID BETWEEN 2000000000 AND 8000000000 AND OrderPriority IN ('C','M') AND Region = 'Asia';--50
SELECT * FROM SALESRECORDS1500000 WHERE UnitsSold BETWEEN 1000 AND 2000 AND OrderPriority IN ('H','M') AND ItemType = 'Fruits';--200
SELECT Region, COUNT(Country), SUM(TotalProfit), AVG(UnitsSold) FROM SALESRECORDS1500000 GROUP BY Region;--Aggregation

--UPDATE
UPDATE SALESRECORDS1500000 SET Country = 'United Kingdom' WHERE Country = 'Iraq' AND TotalProfit = 661327.20;
UPDATE SALESRECORDS1500000 SET Region = 'Individual' WHERE Country = 'United Kingdom';
UPDATE SALESRECORDS1500000 SET SalesChannel = 'Offline', UnitCost = UnitCost * 0.75 WHERE Region = 'Individual';
UPDATE SALESRECORDS1500000 SET Region = 'Europe', UnitsSold = UnitsSold * 1.50, SalesChannel = 'Online' WHERE Region = 'Individual';

--DELETE
DELETE FROM SALESRECORDS1500000 WHERE Country = 'Ethiopia' AND TotalProfit = 12548.87;
DELETE FROM SALESRECORDS1500000 WHERE ItemType = 'Baby Food';
DELETE FROM SALESRECORDS1500000 WHERE ItemType IN ('Beverages','Cereal','Clothes');
DELETE FROM SALESRECORDS1500000 WHERE ItemType IN ('Cosmetics','Fruits','Household','Meat','Office Supplies','Personal Care','Snacks','Vegetables');

```

1 Spezifische SQL-Syntax (Performancetest)